



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nachhaltige
Agrarsysteme, Institut für Landtechnik

Messen und Mindern von Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine

Endbericht

GZ 21.210/10-II/1/03

November 2005

Dr. Barbara Amon

Dipl.-Ing. Martina Fröhlich

Dipl.-Ing. Vitaliy Kryvoruchko

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Amon

Im Auftrag des
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

University of Applied Sciences and Applied Arts, Vienna, Austria
Department of Agricultural Systems

universität des lebens

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	14
2	Der Schrägbodenstall für Mastschweine	16
2.1	Entwicklung des Schrägbodenstalls	16
2.2	Funktionsprinzip und Struktur der Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“	17
2.3	Tierschutz- und verfahrenstechnisch relevante Merkmale von Schrägbodenbuchten	17
2.3.1	Trennung von Liegefläche und Kotbereich	19
2.3.2	Geringe Besatzdichte	19
2.3.3	Einstreu	20
2.3.4	Planbefestigte Liegefläche	21
2.3.5	Fütterung und Mastleistung	21
2.3.6	Sprühkühlung	22
2.3.7	Wirtschaftliche Aspekte	22
3	Emissionen aus dem Schrägbodenstall	23
3.1	Material und Methode	23
3.1.1	Der Schrägbodenstall für Mastschweine	23
3.1.2	Messen der Emissionen	24
3.1.3	Ablauf der Versuche	28
3.1.4	Einsatz des Zusatzes „Effektive Mikroorganismen (EM)“ im Schrägbodenstall für Mastschweine	31
3.2	Ergebnisse aus dem Bereich „Schrägbodenstall“	34
3.2.1	Stall- und Außentemperatur	34
3.2.2	Gewichtsentwicklung der Schweine	34
3.2.3	Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung)	35
3.2.4	Emissionen aus Abteil 2 (Schrappentmistung)	39
3.2.5	Emissionen aus Abteil 3 (Schrappentmistung)	42
3.2.6	Vergleich der Emissionen im Sommer und Winter und bei Einsatz von EM im Stall	45
3.2.7	Vergleich der Emissionen aus dem Schrägbodenstall mit Richtwerten aus der Literatur	49
4	Emissionen während der Lagerung	54
4.1	Material und Methode	54
4.1.1	Versuchseinrichtung des ILT in Groß-Enzersdorf	54
4.1.2	Ablauf der Versuche	58
4.2	Ergebnisse aus dem Bereich „Lagerung“	62

4.2.1	Schweineflüssigmist — warme Witterung	63
4.2.2	Schweinefestmist	71
4.2.3	Schweineflüssigmist — kühle Witterung	80
4.2.4	Vergleich der Emissionen von Schweinefestmist und von Schweineflüssigmist unter warmen und unter küh- len Bedingungen	88
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	93

Tabellenverzeichnis

1	Zeitplan der Emissionsmessungen an einem Schrägbodenstall für Mastschweine	28
2	Eckdaten der Versuchsbedingungen während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall	30
3	In EM identifizierte Mikroorganismen	31
4	Eckdaten der Versuchsbedingungen zur Untersuchung der Wirkung von EM im Schrägbodenstall	33
5	Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 1 (Schwemmentmistung) während der drei Messperioden	38
6	Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 2 (Schrappentmistung) während der drei Messperioden	42
7	Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 3 (Schrappentmistung) während der drei Messperioden	45
8	Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine	53
9	Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende	60
10	Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende	61
11	Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende	62
12	Zeitplan der Emissionsmessungen während der Lagerung von Flüssigmist und Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine	62
13	Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist (Lagerungsdauer: 80 Tage).	88
14	Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter warmen und unter kühlen Bedingungen. . . .	90
15	Klimarelevante Gase während der Lagerung von Schweinefestmist und Schweineflüssigmist unter warmen und unter kühlen Bedingungen.	92

Abbildungsverzeichnis

1	Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“ (nach BARTUSSEK ET AL. 1995 [15], 1999 [17])	18
2	Mastschweine im „System Gumpenstein“ zu Mastbeginn und Mastende (nach BARTUSSEK ET AL. 1993 [13])	19
3	Mobiles Büro für die Bestimmung von NH ₃ -, N ₂ O-, CH ₄ - und TOC-Emissionen unter Feldbedingungen	27
4	Mittlere tägliche Temperaturen im Stall und in der Außenluft während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall	34
5	Gesamtsumme an Schweinegewicht während der Emissionsmessungen in den drei Stallabteilen	35
6	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung), erste Messperiode	36
7	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung), zweite Messperiode	37
8	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung) während der Verfütterung von EM-FKE	38
9	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmistung), erste Messperiode	39
10	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmistung), zweite Messperiode	40
11	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmistung) während der Verfütterung von EM-FKE	41
12	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmistung), erste Messperiode	43
13	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmistung), zweite Messperiode	43
14	Stallinnentemperatur, CO ₂ -, CH ₄ -, N ₂ O-, NH ₃ -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmistung) während der Verfütterung von EM-FKE	44
15	CO ₂ -Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall	46

16	CH ₄ -Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall	46
17	NH ₃ -Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall	47
18	N ₂ O-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall	48
19	TOC-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall	48
20	CH ₄ -Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrapperentmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine	50
21	N ₂ O-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrapperentmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine	51
22	NH ₃ -Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrapperentmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine	51
23	Klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrapperentmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine	52
24	Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Seitenansicht) (nach AMON ETAL. 2002 [8])	55
25	Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Draufsicht) (nach AMON ETAL. 2002 [8])	56
26	Großer mobiler Emissionsmessraum, der vom ILT entwickelt wurde (nach AMON ET AL. 1996 [2])	57
27	Temperatur im Flüssigmist während der Lagerung von Mai bis Dezember 2004	63
28	Tägliche CO ₂ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	64
29	Tägliche CH ₄ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	65
30	Tägliche NH ₃ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	65

31	Tägliche N ₂ O-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	66
32	Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	67
33	Kumulierte CO ₂ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	68
34	Kumulierte CH ₄ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	68
35	Kumulierte NH ₃ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	69
36	Kumulierte N ₂ O-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	70
37	Kumulierte TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004	71
38	Temperatur im Festmist mit und ohne Zusatz von EM	72
39	Tägliche CO ₂ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	73
40	Tägliche CH ₄ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	74
41	Tägliche NH ₃ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	74
42	Tägliche N ₂ O-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	75
43	Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	76
44	Kumulierte CO ₂ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	77
45	Kumulierte CH ₄ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	77
46	Kumulierte NH ₃ -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	78
47	Kumulierte N ₂ O-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	79
48	Kumulierte TOC-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz	79
49	Temperatur im Flüssigmist während der Lagerung von April bis Juni 2005	81
50	Tägliche CO ₂ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	81
51	Tägliche CH ₄ -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	82

52	Tägliche NH_3 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	83
53	Tägliche N_2O -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	83
54	Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	84
55	Kumulierte CO_2 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	85
56	Kumulierte CH_4 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	86
57	Kumuliert NH_3 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	86
58	Kumuliert N_2O -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	87
59	Kumuliert TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005	88

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft finanziert. Die Firmen Multikraft GmbH und IPUS GmbH unterstützten zusätzliche Fragestellung zur Wirkung von Zusätzen auf die Emissionen. In Eigenleistung der Universität für Bodenkultur wurden Fragestellungen in den Bereichen „Stall“ und „Lagerung“ vertieft.

Die Emissionsmessungen wurden in enger Kooperation mit der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Die Zusammenarbeit war fruchtbar und effizient. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle ein herzlicher Dank ausgesprochen.

Die Emissionsmessungen aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine wurden auf dem Betrieb der Familie Kasinger in Weng im Innkreis durchgeführt. Dort waren wir für fast ein Jahr lang herzlich willkommen und wurden umfangreich unterstützt. Familie Kasinger stellte ihren Stall und alle dazugehörigen Aufzeichnungen zur Verfügung. Herr Kasinger half darüber hinaus beim Durchführen der Messungen und betreute die Messtechnik auch am Wochenende und an Feiertagen. Ohne das Engagement und Entgegenkommen der Familie Kasinger hätte das Projekt nicht durchgeführt werden können.

Die Betriebe Friedl in Hunding und Hochholzer in Winklern stellten Schweineflüssigmist und Schweinefestmist für die Emissionsmessungen während der Lagerung zur Verfügung. Auch ihnen möchten wir ausdrücklich danken.

Die Emissionsmessungen während der Lagerung von Flüssigmist und Festmist wurden an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf durchgeführt. Die Mitarbeiter der Versuchswirtschaft waren stets zur Stelle, wenn Hilfe benötigt wurde und unterstützten das Forschungsprojekt tatkräftig. Sie trugen damit entscheidend zum Gelingen des Projektes bei.

Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung muss tier- und umweltgerecht sein. Verbraucher fordern zunehmend Fleisch aus tiergerechter Haltung mit Stroheinstreu. Vertreter des Umweltschutzes hingegen befürworten Flüssigmistsysteme ohne Stroh, weil sie hier geringere Emissionen erwarten. Diesen Konflikt gilt es zu lösen.

Eingestreute Ställe für Mastschweine werden häufig mit Tiefstreuställen gleichgesetzt. Dort sind Kot- und Liegefläche nicht getrennt. Aus diesem Grund wird Tiefstreuställen ein höheres Potential für umwelt- und klimarelevante Emissionen zugesprochen. Im Gegensatz zum Tiefstreustall unterteilt sich der Schrägbodenstall in einen Liegebereich und einen Kotbereich. Wegen dieser Trennung wird nur ein kleiner Teil der Bucht mit Exkrementen verschmutzt. Das Stroh auf der Liegefläche bleibt sauber und trocken. Dies sollte zu einer Verringerung der Emissionen führen.

Der Schrägbodenstall ist ein besonders tierfreundliches Haltungssystem für Mastschweine. Er kann in der Praxis wirtschaftlich betrieben werden. Im Forschungsprojekt „Messen und Mindern von Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ sollte nun die Frage geklärt werden, welche Mengen an CH_4 , N_2O , NH_3 und TOC aus diesem tierfreundlichen System emittiert werden. Die Untersuchungen wurden in enger Kooperation mit dem Forschungsprojekt „Gasförmige Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt.

Auf einem landwirtschaftlichen Betrieb in Oberösterreich wurden von Juni 2003 bis April 2004 kontinuierlich Emissionsmessungen durchgeführt. Die Konzentrationen von NH_3 , N_2O und CH_4 wurden mittels eines hochauflösenden FTIR-Spektrometers online gemessen. Die TOC-Konzentration wurde mit einem Flammenionisationsdetektor bestimmt. Der Luftvolumenstrom wurde im zentralen Abluftschacht gemessen. Über das vertraglich vereinbarte Versuchsprogramm hinaus wurde mit Unterstützung der Firma Multikraft GmbH auch die Wirkung des Zusatzes „Effektive Mikroorganismen“ auf Emissionen aus dem Stall quantifiziert.

Im Anschluss an die Messungen im Stall wurden an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf Emissionsmessungen während der Lagerung von Schweineflüssigmist durchgeführt. Die Messungen dauerten von Mai 2004 bis Juni 2005. Über das vertraglich vereinbarte Versuchsprogramm hinaus bearbeitete das ILT in Eigenleistung noch die Frage, welchen Einfluss eine feste Behälterabdeckung auf Emissionen während Flüssigmistlagerung hat. Mit finanzieller Unterstützung der Firmen Multikraft Produktions- und HandelsGmbH und IPUS GmbH wurde der Einfluss

der Zusatzstoffe „Effektive Mikroorganismen (EM)“ und „IPUS agrolift“ zusammen mit „Microbe-lift HOG“ ermittelt. Die Firma Multikraft finanzierte darüber hinaus Emissionsmessungen mit Schweinefestmist. Dies hat den großen Vorteil, dass — für das BMLFUW kostenneutral — bereits in diesem Projekt die Emissionen von Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine ermittelt wurden.

CH₄-, N₂O- und NH₃-Emissionen aus dem Schrägbodenstall waren deutlich geringer die Richtwerte, die derzeit für zwangsbelüftete Vollspaltenställe angegeben werden. Der Schrägbodenstall emittiert 1,24 (Schwemmentmistung) und 0,54 (Schrappertmistung) kg CH₄ je Schwein und Jahr. Der Richtwert beträgt 4,00 kg CH₄ je Schwein und Jahr. Die N₂O-Emissionen aus dem Schrägbodenstall beliefen sich auf 39,95 (Schwemmentmistung) und 24,54 (Schrappertmistung) g N₂O je Schwein und Jahr. Zwangsbelüftete Vollspaltenställe werden mit N₂O-Emissionen von 100 g N₂O je Schwein und Jahr kalkuliert. Aus dem Schrägbodenstall wurden NH₃-Emissionen in Höhe von 2,10 (Schwemmentmistung) und 1,91 (Schrappertmistung) kg NH₃ je Schwein und Jahr gemessen. Auch hier ist der Richtwert für zwangsbelüftete Vollspaltenställe deutlich höher: 3,00 kg NH₃ je Schwein und Jahr.

Ein Schrägbodenstall mit Schwemmentmistung emittiert weniger umwelt- und klimarelevante Gase als ein Vollspaltenstall. Wird unterhalb des Spaltenbodens, der sich am hinteren Ende der Bucht befindet, zusätzlich ein Schrappert installiert, der die Exkremate ein- bis zweimal täglich aus dem Stall in das Flüssigmistlager befördert, so wird die Umweltfreundlichkeit des Systems weiter gesteigert.

Während der Lagerung von Schweineflüssigmist konnte nachgewiesen werden, dass eine feste Abdeckung des Lagerbehälters eine effiziente Maßnahme ist, um klimarelevante Emissionen und Ammoniakemissionen zu senken. Es wird empfohlen, Schweineflüssigmist in abgedeckten Behältern zu lagern.

Die Emissionsraten aus Schweineflüssigmist waren unter kühlen Witterungsbedingungen deutlich geringer als unter warmen Witterungsbedingungen. Aus diesem Grund sollten in der nationalen Emissionsinventur zwei unterschiedliche Emissionsfaktoren verwendet werden: einer für das Winterhalbjahr und einer für das Sommerhalbjahr. Dies würde die Genauigkeit der Inventur verbessern und in Summe zu niedrigeren Emissionen führen.

Der Schrägbodenstall für Mastschweine ist ein tierfreundliches System, das in der landwirtschaftlichen Praxis wirtschaftlich betrieben werden kann. Die NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus dem Schrägbodenstall waren geringer als Standardwerte, die für Vollspaltenbodenställe angegeben werden. Das Lagern des Schweineflüssigmistes sollte in abgedeckten Behältern erfolgen. Im Schrägbodenstall können Ansprüche des Tierschutzes und des Umweltschutzes erfüllt werden.

Abstract

Animal welfare and environmental protection are increasingly important. Housing systems must be found that offer animal welfare and emit little NH_3 and greenhouse gases. Often, a contradiction is seen between animal welfare and environmental protection.

Emissions from slurry based pig houses have intensively been researched. Data on emissions from straw based houses are limited. Straw bases systems often are assigned higher emission factors than slurry based systems. This, however, has up to now not been scientifically proven. More research is needed into straw based systems for pigs. Mitigation options for NH_3 , and greenhouse gases must be proposed.

The straw flow system is an animal friendly housing system for fattening pigs. It can be operated economically efficiently on commercial farms. It was to be investigated, if the straw flow system emitted less ammonia and greenhouse gases than a conventional fully slatted floor system. The research project was carried out in close cooperation with the Federal Research Institute for Agriculture in Alpine Regions.

Emissions of NH_3 , N_2O , CH_4 , and VOC were measured at a commercial farm in Upper Austria from June 2003 to April 2004. Gas concentrations were measured with high resolution FTIR spectrometry. VOC were analysed by a flame ionisation detector. The ventilation rate was continuously recorded in the central exhaust fan. The company Multikraft Ltd. financed additional trials that investigated the influence of the additive „effective micro organisms (EM)“ on emissions from the straw flow system.

From May 2004 to June 2005 emissions were followed from storage of pig slurry received from a straw flow systems. Measurements were carried out at the research station „Gross-Enzersdorf“ of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. ILT extended the research programme (services on own account) and investigated not only emissions from covered slurry stores, but as well emissions from uncovered stores. Two companies financed the measurement of emissions after the addition of the slurry additives „effective micro organisms (EM)“ and „IPUS agrolift“. Emissions from anaerobic storage of solid pig manure were quantified, as well.

Emissions of CH_4 , N_2O , NH_3 , and greenhouse gases from the straw flow system were always lower than default values for forced ventilated fully slatted floor systems. From the straw flow system CH_4 emissions of 1.24 (dung channel system) respectively 0.54 (daily manure removal system) kg CH_4 per pig and year were lost. The default value for fully slatted floor systems is 4.00 kg CH_4 per pig and year. N_2O emissions from the straw flow system amounted to 39.95 (dung channel system) respectively 24.54 (daily manure

removal system) g N₂O per pig and year. Fully slatted floor systems are estimated to emit 100 g N₂O per pig and year. NH₃ emissions from the straw flow system were 2.10 (dung channel system) respectively 1.91 (daily manure removal system) kg NH₃ per pig an year. The default value for fully slatted floor systems is higher: 3.00 kg NH₃ per pig and year.

The straw floor system emits less ammonia and greenhouse gases than a conventional fully slatted floor system. When the dung channel system is additionally equipped with a scraper and the pig manure is daily removed to the outside storage, then emissions from the straw flow system can further be reduced.

A solid cover placed on the pig manure store was an efficient means to reduce ammonia and greenhouse gas emissions during pig slurry storage. It is recommended to store pig slurry in covered stores.

When stored under cool climatic conditions, pig manure emitted less NH₃ and GHG than when stored under warm climatic conditions. It is recommended to set up the national emission inventory by applying separate emission factors for slurry storage in the cooler and in the warmer half of the year. This would improve the inventory quality and would reduce net total agricultural emissions.

The straw flow system for fattening pigs is an animal friendly system that can be operated economically efficiently on commercial farms. NH₃, CH₄ and N₂O emissions are lower than from conventional fully slatted floor systems. Stores for pig slurry should be equipped with a solid cover. The straw flow system combines recommendations of animal welfare and environmental protection.

1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung muss tiergerecht und umweltgerecht sein. Besonders im Bereich der Schweinehaltung wird jedoch oftmals ein Widerspruch zwischen Tierschutz und Umweltschutz gesehen. Es wird die Meinung vertreten, ein Haltungssystem könne entweder tierfreundlich oder umweltfreundlich sein, nicht aber beides zugleich.

Verbraucher fordern zunehmend Fleisch aus tiergerechter Haltung mit Stroheinstreu. Vertreter des Umweltschutzes hingegen befürworten Flüssigmistsysteme ohne Stroh, weil sie hier geringere Emissionen erwarten. Diesen Konflikt gilt es zu lösen. Es müssen tierfreundliche Haltungssysteme für Mastschweine entwickelt werden, die geringe Emissionen von Ammoniak, Methan und Lachgas freisetzen.

In internationalen Richtlinien finden sich Emissionsfaktoren für unterschiedliche Haltungssysteme. Ammoniakemissionen werden nach den CORINAIR-Richtlinien berechnet (EMEP/CORINAIR 2002 [21]). Lachgas- und Methanemissionen müssen gemäß der „Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories“ (IPCC 1997 [27]) berichtet werden.

Die UN/ECE „Expert Group on Ammonia Abatement“ des „Executive Body for the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution“ erarbeitet ein Dokument zu „Control Techniques for Preventing and Abating Emissions of Ammonia“. Hier werden Maßnahmen vorgestellt, mit denen Ammoniakemissionen vermindert werden können.

Die letzte Fassung vom Juli 2002 unterscheidet 19 verschiedene Flüssigmistsysteme für Schweine, denen jeweils eigene Emissionsfaktoren zugeordnet sind. Haltungssysteme, die Stroh verwenden, werden lediglich in zwei Kategorien eingeteilt, da die mangelnde Datengrundlage keine weitere Differenzierung erlaubt. Hier bestehen große Wissenslücken.

Wegen der unzureichenden Datengrundlage werden den eingestreuten Haltungssystemen hohe Ammoniakemissionen zugeschrieben. DÖHLER ET AL. (2002 [20]) bearbeiteten in Deutschland ein umfangreiches Projekt, welches die Emissionsinventur für Ammoniak verbessern sollte. Sie unterscheiden zwei eingestreuete Haltungssysteme: den Tiefstreustall und die Dänische Aufstallung.

Dem Tiefstreustall werden erhöhte N_2O - und NH_3 -Emissionen zugeschrieben. Die Dänische Aufstallung wird mit höheren NH_3 -Emissionen bewertet. DÖHLER ET AL. (2002 [20]) weisen aber ausdrücklich auf die große Unsicherheit hin, die mit diesen Emissionsfaktoren verbunden ist.

Die Datenlage zu Emissionen aus eingestreuten Haltungssystemen ist sehr gering und muss dringend verbessert werden.

Folgende tierfreundliche Haltungssysteme sind am weitesten verbreitet:

- Tiefstreu- oder Kompoststall
- Kistenhaltung
- Kotgang- bzw. Fressgangbuchten

Tiefstreuställe, die häufig in der biologischen Landwirtschaft eingesetzt werden, kommen zwar den Ansprüchen der Schweine weitgehend entgegen, sind jedoch mit gravierenden Nachteilen behaftet (BARTUSSEK 1993 [13]). Neben negativen Aspekten wie dem hohen Strohaufwand, Verschmutzung der Tiere, Geruchsbelästigungen in den Sommermonaten, etc. wird Tiefstreuställen auch ein höheres Potential umwelt- und klimarelevanter Emissionen zugesprochen.

Im Gegensatz zum Tiefstreustall unterteilt sich der Schrägbodenstall in einen Liegebereich und einen Kotbereich (siehe Abb. 1). Wegen der Trennung von Kot- und Liegebereich wird nur ein kleiner Teil der Bucht mit Exkrementen verschmutzt. Das Stroh auf der Liegefläche bleibt sauber und trocken. In Tiefstreusystemen, in denen Kot- und Liegefläche nicht getrennt sind, entsteht ein Stroh-Kot-Urin-Gemisch, welches beträchtliche Mengen an gasförmigen Emissionen freisetzen kann. Dieses Problem tritt im Schrägbodenstall nicht auf. Die Oberfläche im Kotbereich ist klein. Der Kotbereich kann regelmäßig mechanisch entmistet werden. Beides trägt zur Verminderung der Emissionen bei.

Der Schrägbodenstall ist ein vielversprechendes besonders tierfreundliches und praktikables Haltungssystem (BARTUSSEK ET AL. 1995 [15], ZALUDIK 1997 [38]). Jedoch ist derzeit auf Grund fehlender Messungen unbekannt, welche Mengen an gasförmigen Emissionen aus einem Schrägbodenstall freigesetzt werden und welche Einflüsse auf den Umfang der Emissionen wirken. Dieses tierfreundliche System kann sich nur dann in der landwirtschaftlichen Praxis verbreiten, wenn belastbare Daten zu Emissionsfaktoren vorliegen. Dies bedingt hochexakte, praxisnahe Messungen, die einer internationalen Evaluierung Stand halten.

Das Forschungsprojekt „Messen und Mindern von Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ wurde in enger Kooperation mit dem Forschungsprojekt „Gasförmige Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt.

2 Der Schrägbodenstall für Mastschweine

2.1 Entwicklung des Schrägbodenstalls

Die ersten Vorbilder der Schrägbodenbuchten in der Schweinehaltung wurden ab 1987 in Schottland entwickelt (BARTUSSEK 1993 [13]) und gelangten infolge auch in anderen europäischen Ländern zur Praxisreife. Man orientierte sich dabei am bereits bekannten Tretmistsystem der Rinderhaltung: Gruppenbuchten mit eingestreuter und geneigter Liegefläche. Die Mechanismen des Mistflusses in der Rinderhaltung differieren allerdings von denen der Schweinehaltung. Bei Rindern wird der Mist durch das Gewicht und den Tritt der Tiere abwärts bewegt, bei Schweinen primär durch ihre Wühlaktivität. Zudem soll die Liegefläche möglichst frei von Exkrementen gehalten werden, so muss den Schweinen ermöglicht werden, in einem anderen Bereich Kot und Harn abzusetzen. Aus diesem Grund hat sich in Österreich die Bezeichnung „Schrägbodenbuchten“ für Buchten mit geneigter Liegefläche durchgesetzt (BARTUSSEK ET AL. 1995 [15]).

In Deutschland, wo man die Bezeichnung „Schrägmist“ benutzt, werden seit 1988 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig-Völkenrode Versuche zu diesem Haltungssystem durchgeführt (EVENTL LIT AUS RATHMER EINFÜGEN). Im englischen Sprachraum wurde der Begriff „Straw-Flow-System“ eingeführt, der angibt, dass das Stroh vom höheren Teil der Liegefläche nach unten fließt. Die ersten Untersuchungen zum Einsatz des Schrägbodensystems wurden am Centre for Rural Buildings an der Scottish Farm Investigation Unit der Universität Aberdeen durchgeführt (BRUCE 1990 [19], 1991 [19]). Heute gilt das System in Großbritannien als Stand der Technik und wird in der Mastschweine- und Sauenhaltung sowie in der Ferkelaufzucht eingesetzt.

In Österreich werden Schrägbodenbuchten für Mastschweine seit 1990 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein weiterentwickelt und Untersuchungen unternommen (BARTUSSEK 1993 [13], BARTUSSEK ET AL. 1995 [15], BARTUSSEK ET AL. 1999 [17]). Die ersten Buchten waren als Einflächenbuchten vorgesehen, was den Nachteil mit sich brachte, dass die Schweine im Sommer relativ verschmutzt waren. Eine bessere Lösung fand sich im „System Gumpenstein“, einer Zweiflächenbucht mit angehobenem Spaltenboden am Mistgang. Nachfolgende Beschreibungen beziehen sich auf dieses Verfahren.

2.2 Funktionsprinzip und Struktur der Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist die Bucht so dimensioniert, dass das Verhältnis Tiefe zu Breite 1,5:1 beträgt. Das Verhältnis der Liegefläche zum Mistplatz ist 2:1. Die Buchtenumwandungen sind im Bereich der Liegefläche dicht und am Mistgang gitterförmig ausgeführt. Der planbefestigte und eingestreute Boden der Schrägbodenbucht ist mit einer Neigung von 6 – 10 % versehen. An der Talseite der eingestreuten schrägen Liegefläche befindet sich eine Stufe zu einem angehobenen Spaltenboden mit Misteintrittsschlitz an der Stufenkante. Der sich darunter befindende Mistkanal kann mit Schieber oder auch nach dem Prinzip der Schwemmentmistung gereinigt werden.

Am oberen Ende der geneigten Fläche wird täglich frisches Langstroh in einer Raufe angeboten wird. Durch die Aktivität der Tiere wird die Einstreu in Richtung des Gefälles abwärts bewegt und gelangt so in den Mistkanal unterhalb des Spaltenbodens. Die Schweine bearbeiten das Stroh stark und zerkleinern es dabei. Der Trocken- bzw. Breifutterautomat befindet sich am oberen Ende der geneigten Fläche. Die Trinkwasserversorgung erfolgt mittels Tränkenippel, die über dem Mistgang installiert sind. Ebenfalls im Kotbereich ist eine Sprüheinrichtung angebracht, die aus einem Rohr und zwei Kegeldüsen besteht. Die Sprühanlage kann durch ein elektrisches Magnetventil mit vorgeschalteter Schaltuhr gesteuert werden, wobei die Intervalle der Sprühkühlung der jeweiligen Witterung angepasst werden können.

Die Besatzdichte wird so gewählt, dass pro Endmastschwein eine Buchtenfläche von 1,0- 1,3 m² zur Verfügung steht. Abbildung 2 zeigt die Platzverteilung der Tiere in der Bucht „System Gumpenstein“ zur Anfangs- und Endmast.

2.3 Tierschutz- und verfahrenstechnisch relevante Merkmale von Schrägbodenbuchten

Schrägbodenbuchten gelten als tierfreundliche und funktionstüchtige Alternative zu anderen gängigen Haltungssystemen für Mastschweine. Wie bereits erwähnt wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein seit 1990 zahlreiche Untersuchungen zur Schrägbodenbucht System Gumpenstein durchgeführt (BARTUSSEK 1993 [13], BARTUSSEK ET AL. 1995 [15], BARTUSSEK ET AL. 1999 [17], ZALUDIK 1997 [38]). Nachfolgend werden die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen sowie die wesentlichsten tierschutz- und verfahrenstechnisch relevanten Merkmale von Schrägbodenbuchten erläutert und dargestellt.

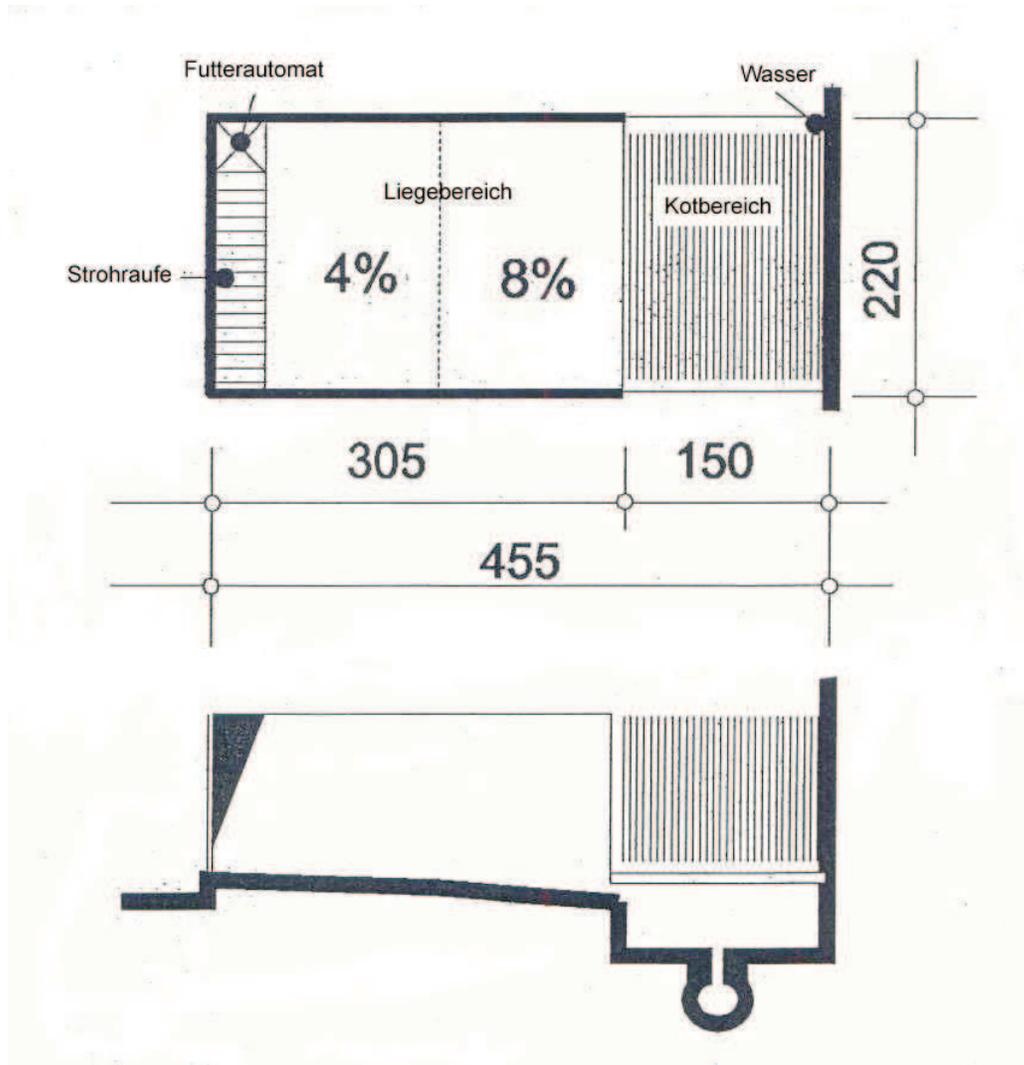


Abb. 1. Schrägbodenbucht „System Gumpenstein“ (nach BARTUSSEK ET AL. 1995 [15], 1999 [17])

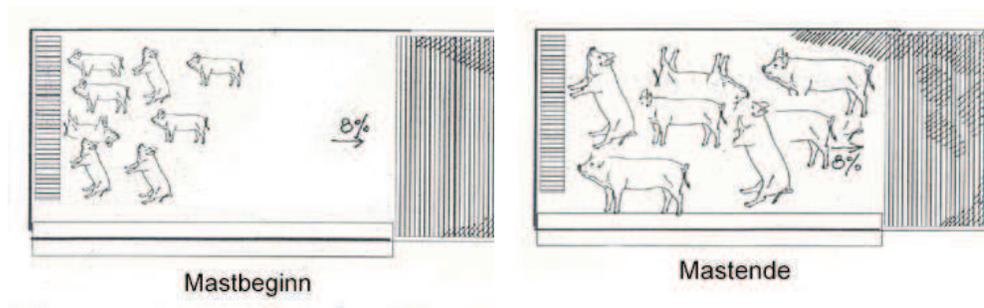


Abb. 2. Mastschweine im „System Gumpenstein“ zu Mastbeginn und Mastende (nach BARTUSSEK ET AL. 1993 [13])

2.3.1 Trennung von Liegefläche und Kotbereich

Schweinen ist eine starke Abneigung gegen die eigenen und arteigenen Exkremente angeboren. Sie nehmen bei der Kot- und Harnabgabe eine gekrümmte Haltung mit gespreizten Beinen ein, die eine Eigenverschmutzung verhindert (ZERBONI & GRAUVOGL 1984 [41]). Auch legen Schweine ihre Kotplätze naturgemäß möglichst weit entfernt von ihrem Liege- bzw. Aktivitätsbereich an (STOLBA 1983 [33], WECHSLER 1994 [35], 1997 [36]). Die Entfernung des Kotplatzes wird von den Tieren so gewählt, dass eine bestimmte Mindestdistanz eingehalten wird. Diesem arteigenen Bedürfnis gehen sie auch in Haltungssystemen nach. Dies können sie natürlich nur dann tun, wenn es die Gestaltung der Bucht zulässt, die verschiedenen Funktionsbereiche zu trennen. Durch die deutliche Trennung von Liegefläche und Kotbereich im System Gumpenstein können die Schweine ihrem artgemäßen Ausscheidungsverhalten nachgehen und dieses kann auch verfahrenstechnisch genutzt werden. In Untersuchungen von BARTUSSEK ET AL. (1995 [15]) und ZALUDIK (1997 [38]) konnte festgestellt werden, dass die Schweine von Beginn an den angehobenen Spaltenboden als Kotbereich annehmen. Daraus resultiert eine geringe Buchten- und Tierverschmutzung.

2.3.2 Geringe Besatzdichte

Die Ermöglichung der nötigen Individualdistanz (Platzangebot) wirkt sich auf alle Verhaltensbereiche der Schweine positiv aus. So können dadurch arttypische Verhaltensweisen aller Funktionskreise überhaupt erst ausgeführt werden. Beispielsweise können die Tiere bei zu dichtem Besatz keine Kotplätze anlegen, da die erforderliche Mindestdistanz zum Liegebereich unter-

schritten wird und so ein wichtiger Anlass zur Einhaltung des Kotplatzes entfällt (ZERBONI & GRAUVOGL 1984 [41]). Eine hohe Besatzdichte bedingt auch ein höheres Aggressionsniveau, was vor allem auf die räumliche Enge zurückzuführen ist. In Schrägbodenbuchten ist eine Gesamtbuchtenfläche pro Endmastschwein von 1,0- 1,3 m² vorgesehen. Den Tieren wird so ein ihren Ansprüchen nachkommendes Platzangebot eingeräumt.

2.3.3 Einstreu

Hausschweine sind insbesondere nach der Fütterung stark motiviert ihre Umwelt zu erkunden und zu bearbeiten. Um diesem Bedürfnis nachzukommen, müssen Schweine aller Altersklassen Zugang zu geeigneten Beschäftigungsmaterialien (Stroh und andere organische Materialien) haben (WECHSLER 1997 [36]). Es ist auch bekannt, dass die Verhaltensstörungen Schwanz- und Ohrenbeißen gehäuft in strohlosen Haltungssystemen auftreten. Der Grund hierfür liegt darin, dass Schweine aus Mangel an Beschäftigungsmöglichkeit ihr Erkundungsverhalten an den Körper ihrer Buchtgenossen umorientieren (FRASER ET AL. 1991 [22]), was schwerwiegende Folgen und wirtschaftliche Einbußen für den Landwirt zur Folge haben kann. Nach BARTUSSEK ET AL. (1995 [15]) ergeben sich folgende Prioritäten für die Bereitstellung von Beschäftigungsmaterial:

- mittelgroß strukturiertes Material ist günstiger als fein oder sehr grob strukturiertes
- Material, das sich zerkleinern lässt ist günstiger als nicht oder kaum zerstörbares
- organisches Material ist günstiger als anorganisches (ausgenommen Erde)
- täglich frisch verabreichtes Material ist günstiger als solches, das länger in der Bucht vorhanden ist.

Diesen Anforderungen kommen Schrägbodenbuchten nach, da den Tieren am oberen Ende der Bucht Langstroh in einer Raufe angeboten. Das Stroh wird aus den Raufen intensiv herausgearbeitet, bearbeitet, zerbissen, am Boden verteilt und in Richtung des Gefälles verschoben. Im Laufe des Tages verschwindet das von den Tieren zerkleinerte Stroh durch den Mist-schlitz in den Kanal unter dem Spaltenboden. Wichtig ist, dass die Materialien regelmäßig erneuert werden, da das Erkundungsverhalten durch Neureize besonders stark angeregt wird. ZALUDIK (1997 [38]) untersuchte Zweiflächen-Schrägbodenbuchten nach dem System Gumpenstein jeweils ohne und mit Einstreu. Bei letzteren Verfahren wurde 50 bzw. 100 g Langstroh je Tier

und Tag täglich frisch angeboten. Die Autorin konnte keinen Unterschied zwischen 50 und 100 g Stroh in Bezug auf die Dauer des strohgerichteten Verhaltens finden. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine tägliche Strohgabe von wenigstens 50 g Langstroh je Tier und Tag ausreichend ist. Diese strohsparende Variante ermöglicht eine Flüssigentmischung und mindert die Pumpfähigkeit nicht. Der Arbeitsaufwand der Stroeinbringung in die Raufen wurde von BARTUSSEK & GEISPERGER 1998 [14]) untersucht. Es ergab sich ein Arbeitsaufwand pro erzeugtes Mastschwein von 7 min. Dieser Wert inkludiert auch Transport und Aufbereitung des Strohs. Es muss auch berücksichtigt werden, dass der Zeitpunkt der Strohgabe in die Raufen eine ideale Möglichkeit der Tierkontrolle in der Bucht darstellt.

2.3.4 Planbefestigte Liegefläche

Schweine bevorzugen eine weiche Liegefläche an einem ruhigen, nicht zu hellen, zugfreien Platz. Einstreu wird mehr geschätzt als unbedeckter Boden und ein geschlossener Boden wird bei Wahlmöglichkeit einem perforierten vorgezogen (SAMBRAUS 1991 [31]). Das Ruheverhalten bei Schweinen weist einen großen Anteil am Gesamtverhalten und spielt außerdem eine zentrale Rolle für das physische und psychische Gleichgewicht eines Organismus. Können Schweine ihr artspezifisches Ruheverhalten in Haltungssystemen ausleben, äußert sich dies in der Einnahme spezifischer Ruhelagen. Bei ausreichendem Platzangebot und angenehmer Liegefläche nehmen Schweine die gestreckte Seitenlage ein, die als Zustand vollkommener Entspannung anzusehen ist. In intensiven Haltungssystemen trifft man häufig Schweine in Hundesitzigkeit an, eine Konflikthaltung, die die Tiere u.a. auf vollperforierten Böden einnehmen (HÖRNING 1999 [25]). Um den Schweinen ein artgemäßes Ruheverhalten zu ermöglichen, ist die gesamte Liegefläche im System Gumpenstein planbefestigt und weist dichte Buchtenumwandungen auf.

2.3.5 Fütterung und Mastleistung

Das Nahrungsaufnahmeverhalten bei Schweinen ist eng mit den Verhaltensweisen der Erkundung und Lokomotion verknüpft. Mithilfe ihrer tastempfindlichen Rüsselscheibe erschnuppern und ertasten sie ihre Umgebung, auf der Suche nach potentielltem Futter, das sie durch Bearbeitung aufbereiten (HÖRNING 1999 [25]). In Schrägbodenbuchten wird den Tieren trockenes oder breiiges Futter ad libitum an einem Futterautomaten angeboten. Um dem ausgeprägten Nahrungsaufnahmeverhalten der Schweine gerecht zu werden, wird von restriktiver Fütterung weitgehend abgesehen.

BARTUSSEK ET AL. (1992 [16]) untersuchten die Mastleistung von Schwei-

nen auf Vollspalten und Schweinen in dänischen Buchten mit Stroh. Die Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz von Einstreu die Mastleistung grundsätzlich gesteigert wird. Nach BARTUSSEK ET AL. (1992 [16]) zeichnete sich dies auch in Untersuchungen bei Schrägbodenbuchten ab. Jedoch erlaubt der geringe Versuchsumfang keine statistische Absicherung der Ergebnisse.

2.3.6 Sprühkühlung

Die Haut von Schweinen weist keine Schweißdrüsen auf, auch die Fettschicht unter der Haut vermindert die Wärmeabgabe, wodurch die Tiere unter der Hitzebelastung im Sommer sehr leiden (HÖRNING 1999 [25]). Für die Milderung der Hitzebelastung werden den Schweinen im System Gumpenstein „Schweineduschen“ angeboten. Diese befinden sich oberhalb des angehobenen Mistplatzes. Bei richtiger Auslegung und angepasstem Betrieb über die heißen Tagesstunden im Sommer stellt die Sprühkühlung ein gutes Instrument zum Abbau des thermischen Stresses der Tiere dar (BARTUSSEK ET AL. 1995 [15]). ZALUDIK (1997 [38]) berichtet, dass die Sprühkühlung eine eindeutige Wirkung erzielte. So war der „Vertreibungseffekt“ der auf dem Spaltenboden (Kotplatz) liegenden Tiere gegeben. Somit verringert eine einfache Sprühkühlung mit geringem Wasserverbrauch die Buchten- und Tierverschmutzung und dient dem Wohlbefinden der Tiere an heißen Tagen.

2.3.7 Wirtschaftliche Aspekte

Nach BARTUSSEK & GEISPERGER (1998 [14]) liegen die Baukosten für Schrägbodenbuchten trotz des um etwa 40 % größeren Flächenangebotes nicht höher als bei konventionellen Vollspaltenbuchten. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass Schrägbodenbuchten in Altställen errichtet werden können und somit kein Neubau erforderlich ist. In den Untersuchungen von BARTUSSEK (1993 [12]) wurden folgende sehr gute Tierleistungen ermittelt: Die Mastdauer lag zwischen 79,5 und 87,5 Tagen, die täglichen Zunahmen zwischen 788 und 895 g und die Futtermittelverwertung zwischen 2,64 und 2,88 kg/kg.

3 Emissionen aus dem Schrägbodenstall

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes wurden Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine und während der anschließenden Lagerung des Flüssigmistes gemessen. Im nachfolgenden Kapitel werden zunächst die Messungen aus dem Stall im Detail vorgestellt.

3.1 Material und Methode

3.1.1 Der Schrägbodenstall für Mastschweine

Die Emissionsmessungen wurden auf dem Betrieb der Familie Kasinger in Weng im Innkreis durchgeführt. Der Betrieb hat drei baulich getrennte Stallabteile. Jedes Abteil beherbergt 16 Mastbuchten mit je 10–12 Tieren. Je acht Mastbuchten sind links und rechts von einem zentralen Futtergang angeordnet. Jede Zweiflächen-Schrägbodenbucht ist in drei Bereiche unterteilt. Der obere Teil der planbefestigten Liegefläche mit einer Länge von 1,60 m weist ein Gefälle von 3 % auf, der untere Teil, welcher ebenfalls 1,60 m lang ist, hat ein Gefälle von 8 %. Die Länge des angehobenen Spaltenbodens beträgt 1,50 m. Dies ergibt eine Gesamttiefe der Bucht von 4,70 m. Die Breite beträgt 2,00 m, so dass rund 1,00 m² Buchtenfläche pro Tier zur Verfügung steht. An der Längsseite ist über die gesamte planbefestigte Fläche ein Doppelquertrog mit 35 cm Länge pro Tier angebracht, in dem von jeweils 2 Buchten aus gefressen werden kann. Alle Tiere können gleichzeitig fressen, was eine wichtige Anforderung an ein tiergerechtes Haltungssystem ist. Damit auch kleinere Tiere in der unteren Hälfte der Bucht in den Trog reichen, ist unterhalb davon eine 10 cm breite Stufe eingebaut. Durch das Gefälle beträgt ihre Höhe am oberen Rand 0 cm und steigt bis zum unteren Ende auf 18 cm. Die Liegefläche ist von einer dichten Buchtenwand aus Holz umgeben. Im Kotbereich ist durch gitterförmige Abtrennungen ein freier Blick in die Nachbarbuchten gegeben. BARTUSSEK (1993 [12]) gibt an, dass beim angehobenen Spaltenboden die Liegefläche bis 10 cm unter die Spaltenvorderkante gezogen werden kann, was eine Verletzungsgefahr weitgehend ausschließt. Der Misteintrittsschlitz muss über die ganze Buchtenbreite reichen und 10-12 cm lichte Höhe aufweisen. Weiters befindet sich an der hinteren Wand über dem Spaltenboden eine Nippeltränke.

Über dem Kotbereich sind zwei Kegeldüsen angebracht, die nur den Spaltenboden mit fein zerstäubtem Wasser besprühen. Die Düsen weisen einen Durchfluss von 0,8 l/min bei 3 bar Leitungsdruck auf. Bei entsprechend hoher Temperatur schalten sich die Duschen in einem Intervall von 2 Stunden ein und zwar beginnend um 9 Uhr bis um 21 Uhr. Die Einschaltdauer beträgt

dabei 3 Minuten und es werden etwa 5l Wasser versprüht. Der positive Effekt macht sich auch in der guten Staubbinding und der höheren Luftfeuchtigkeit bemerkbar.

An der bergseitigen Buchtenwand ist die Strohraufe befestigt. Hier werden täglich 50 g Langstroh pro Tier zur Verfügung gestellt. Die Tiere nehmen dieses Stroh aus den Raufen und bearbeiten es intensiv. Dabei wird das Stroh stark zerkleinert und zum Güllekanal transportiert, der sich am unteren Ende der Bucht befindet. Durch die relativ geringe Strohmenge und die starke Zerkleinerung kann in diesem Schrägbodenstall trotz Verwendung von Einstreu Flüssigmist erzeugt werden.

Die Abteile sind über einen zentralen Abluftkamin zwangsentlüftet. Die Lüftung wird automatisch gesteuert und ist so eingestellt, dass eine möglichst konstante Innentemperatur gehalten wird. Die Zuluft gelangt über eine Porendecke in den Stall. Zwei Stallabteile werden zweimal täglich mechanisch mittels Schrapper Unterflur entmistet. Das dritte Abteil hat ein Schwemmentmistungssystem. Die Schweine in einem Abteil sind jeweils etwa gleich alt. Zwischen den Stallabteilen variieren Alter und Gewicht der Schweine. Dadurch können die Emissionen von unterschiedlich schweren Mast Schweinen bei gleicher Witterung und sonst gleichen Bedingungen gemessen werden. Der Einfluss des Gewichtes auf den Umfang der Emissionen kann ermittelt werden.

Die Schweine werden flüssig gefüttert. Das Futter besteht zu 54,0 % aus Mais, 21,7 % aus Getreide, 21,5 % aus Soja und 2,8 % aus einer Mineralstoffmischung. Die Futterzusammensetzung bleibt während der gesamten Mastdauer konstant.

3.1.2 Messen der Emissionen

Die Emissionsmessungen wurden mit der Messtechnik des Institutes für Landtechnik (ILT) durchgeführt. Die Messeinrichtung wurde am ILT entwickelt, ist international evaluiert und hat sich bereits in mehreren Forschungsprojekten bewährt.

Im zentralen Abluftschacht des jeweiligen Stallabteils wurde die Gasprobe entnommen und von einer Pumpe durch einen beheizten Schlauch den Gasanalytoren (FTIR und TOC-Analysator) zugeführt. Der Schlauch muss beheizt sein, um ein Auskondensieren des Ammoniaks während des Transportes der Probe zum FTIR zu vermeiden. Würde Ammoniak im Abluftschlauch auskondensieren, so ergäbe sich eine erhebliche Verfälschung der Messwerte. Im Abluftschacht wurde ebenfalls kontinuierlich der Luftvolumenstrom gemessen. Aus dem Produkt von Gaskonzentration und Luftvolumenstrom errechnet sich die emittierte Menge an Gasen. Die Messungen wurden über

ein Computer-Makro gesteuert und liefen kontinuierlich, Tag und Nacht.

Zusätzlich zu den gasförmigen Emissionen wurden innerhalb und außerhalb des Stalles Klimadaten gemessen.

FTIR Spektrometer. Die Umweltwirkung von Tierhaltungssystemen kann nur dann umfassend beurteilt werden, wenn ein ganzheitlicher Bewertungsansatz verfolgt wird. Das bedeutet, alle Gaskomponenten, die eine negative Umweltwirkung haben, müssen gleichzeitig betrachtet werden. Mit der FTIR Spektroskopie ist es möglich, die Konzentrationen von NH_3 , N_2O und CH_4 hoch exakt online unter Praxisbedingungen zu messen.

Die FTIR Spektroskopie beruht auf dem Prinzip, dass Gase infrarotes Licht in für sie charakteristischen Wellenlängenbereichen absorbieren. Dadurch kann die Konzentration mehrerer Gase mit nur einem Messgerät erfasst werden. Jedes IR Spektrum enthält die Information aller Gase, die Licht zwischen einer IR Quelle und einem Detektor absorbiert haben (GÜNZLER & BÖCK 1983 [24], STAAB 1991 [32]).

Abluft aus Stallungen und von Lagerstätten für Wirtschaftsdünger ist eine Mischung aus bis zu 200 verschiedenen Gaskomponenten. Um Querempfindlichkeiten zwischen diesen Gasen zu vermeiden, die zu falschen Konzentrationswerten führen würden, muss das verwendete FTIR Spektrometer ein hohes Auflösungsvermögen haben. Das in den Messungen verwendete Spektrometer hat ein Auflösungsvermögen von $0,25\text{ cm}^{-1}$. Es wird mit einer Gaszelle betrieben, in der die Spiegel nach White angeordnet sind (WHITE 1942 [37]). Die optische Pfadlänge beträgt 8 m. Die Nachweisgrenze für NH_3 beträgt 0,5 ppm. Für CO_2 , CH_4 und N_2O liegt sie im Bereich der atmosphärischen Hintergrundkonzentration dieser Gase oder darunter. Die mit dem FTIR Spektrometer aufgenommenen Absorptionsspektren werden mit multivariaten Kalibriermethoden ausgewertet.

Gesamtkohlenwasserstoffanalysator. Die organischen Spurengasemissionen (TOC = total organic carbons) wurden als Summenparameter mit einem Gesamtkohlenwasserstoffanalysator (J.U.M Engineering, Gesamtkohlenwasserstoff Analysator Model VE 7) gemessen. Der Analysator hat einen Flammenionisationsdetektor, der flüchtige organische Substanzen im Messgas misst. Mittels einer Gaspumpe wird ständig Messgas in eine Brennkammer geführt, die eine sehr kleine Wasserstoffflamme beinhaltet. Die Brennkammer ist auf 190°C geheizt. Die Kohlenwasserstoffe werden aufgespaltet und erzeugen elektrisch aktive Kohlenstoffionen, die in einem elektrischen Feld einen geringen Ionenstrom bewirken. Die Stärke des Ionenstroms ist abhängig von der Menge an oxidierten Kohlenwasserstoffen. Der im Detektor erzeugte Io-

nenstrom wird dem Elektrometerverstärker zugeführt und als Analogsignal in Form einer Gleichspannung am Gerätedisplay angezeigt sowie in einem Datalogger (Keithley Integra Hochleistungs-DMM-Datenerfassungssystem Modell 2700 mit 20 Kanal Multiplexer Modell 7700) alle 5 Minuten abgespeichert. Der TOC-Analysator wird jeden zweiten Tag mit einem Nullgas (N_2) und einem Prüfgas (CH_4) kalibriert. Mit der Kalibrierung kann die ausgegebene Gleichspannung direkt in eine Konzentrationsangabe in ppm umgerechnet werden. Der TOC-Gehalt in der Abluft kann als Indikator für das Potential für Geruchsemissionen herangezogen werden. Je höher der TOC-Gehalt, desto höher ist das Potential für Geruchsemissionen.

Computerprogramm für die Datenaufnahme. Ein Computerprogramm ermöglicht die kontinuierliche Messung der Gaskonzentrationen. Das Programm kontrolliert einen Messstellenumschalter und das FTIR Spektrometer. Es startet mit der Analyse der Gaskonzentrationen in der Zuluft. Zuluft wird mit einem Durchsatz von rund 1l/min durch die Gaszelle des FTIR Spektrometers und des TOC-Analysators gesaugt. Für die Gaskonzentrationsanalyse wird drei Mal die Zuluft gemessen. Anschließend öffnet das Computerprogramm das Abluftventil. Die Gaszelle des FTIR und der TOC-Analysator werden 10 Minuten lang mit Abluft gespült, dann wird wieder dreimal die Gaskonzentration bestimmt. Nun startet das Programm wieder die Zufuhr von Zuluft. Dieser Zyklus wird kontinuierlich wiederholt, so lange, bis das Programm von Hand gestoppt wird.

Berechnung der Emissionsrate. Die Emissionsrate (g/h) wird berechnet durch Multiplikation von Gaskonzentration (g/m^3) und Luftwechselrate im zentralen Abluftkamin (m^3/h). Das FTIR Spektrometer gibt die Gaskonzentrationen in ppm an. Diese Einheit muss in (g/m^3) umgerechnet werden. Dazu muss das molare Volumen der Gase bekannt sein, das u.a. vom Luftdruck und von der Temperatur abhängig ist. Die Temperatur in den Gasleitungen und in der Gaszelle wurde konstant auf $45^\circ C$ gehalten. Der Luftdruck wurde stündlich gemessen und zur Berechnung der Gaskonzentrationen herangezogen.

Gaskonzentrationen wurden abwechselnd in der Zuluft und in der Abluft gemessen. Die Emissionsrate ergibt sich aus der Differenz zwischen Zuluft- und Abluftkonzentration multipliziert mit der Luftwechselrate.

Mobiles Büro. Online Messungen in der Praxis sind nur dann möglich, wenn die Messgeräte und der Computer vor Ort installiert werden. Das ILT richtete deshalb ein „mobiles Büro“ ein, dass in einem Anhänger unterge-

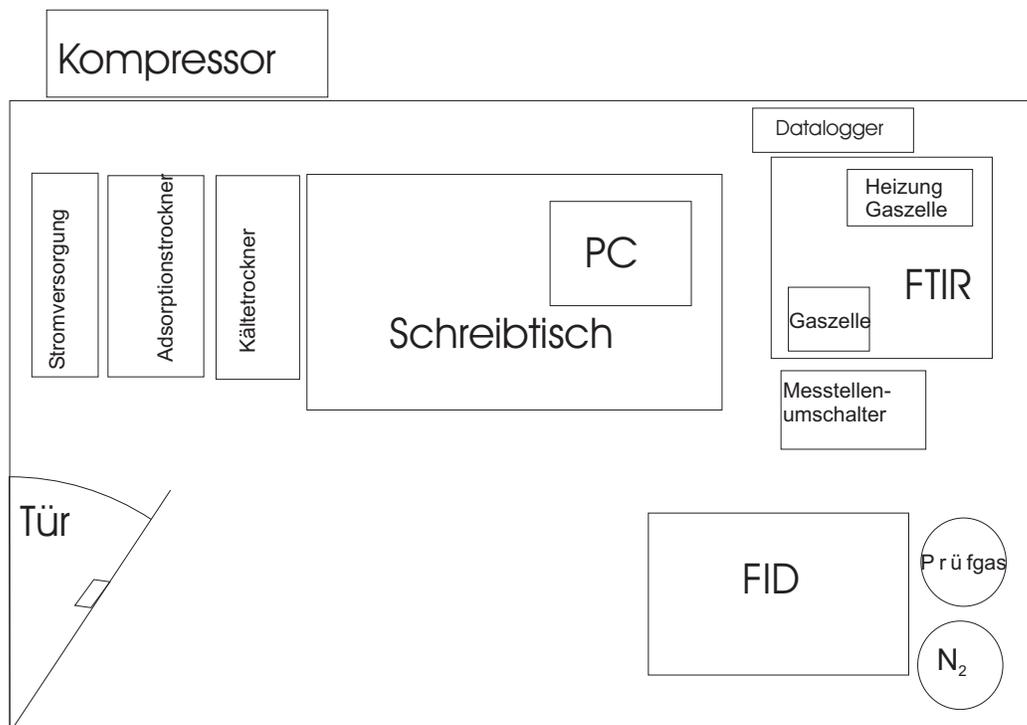


Abb. 3. Mobiles Büro für die Bestimmung von NH_3 -, N_2O -, CH_4 - und TOC-Emissionen unter Feldbedingungen

bracht ist. Es kann am jeweiligen Ort der Emissionsmessungen aufgebaut werden. Der Anhänger beherbergt einen Schreibtisch, den Computer, das FTIR Spektrometer, den TOC-Analysator, den Messstellenumschalter und die Datalogger zur Aufzeichnung der Flüssigmisttemperatur und der Luftwechselrate (Abb. 3). Das FTIR Spektrometer ist geschützt in der hinteren Ecke des Anhängers untergebracht und durch eine Holzkiste vor Staub und Schmutz geschützt. Die Gaszelle und die Probenahmeleitungen werden mit einer Heizung auf 45°C temperiert. Der Messstellenumschalter steht in der Nähe des FTIR Spektrometers. Das Innere des Spektrometers muss kontinuierlich mit trockener und CO_2 -freier Luft gespült werden. Hierfür ist der Adsorptionstrockner zuständig, der neben der Eingangstüre steht. Der erforderliche Luftdruck im Trockner wird durch einen Kompressor erzeugt, der außerhalb des Anhängers steht. Der TOC Analysator steht auf einem Tisch im hinteren Bereich des Anhängers. Hier befinden sich Kalibriergase und reiner Stickstoff, der für die regelmäßige Spülung der Gaszelle benötigt wird.

Tabelle 1. Zeitplan der Emissionsmessungen an einem Schrägbodenstall für Mastschweine

Datum	Tätigkeit
07.07.2003	Transport der Messeinrichtung des ILT von der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf zum Schrägbodenstall für Mastschweine in Weng/Innkreis Aufbau der Messeinrichtung in Weng/Innkreis
08.07.2003 bis 13.07.2003	Probemessungen am Schrägbodenstall für Mastschweine
14.07.2003 bis 20.04.2004	Kontinuierliche Messungen am Schrägbodenstall für Mastschweine; 24 Stunden Messung pro Tag Messrhythmus: 2 Tage Abteil 1 - 2 Tage Abteil 2 - 2 Tage Abteil 3
21.04.2004	Abbau der Messeinrichtung am Schrägbodenstall für Mastschweine in Weng/Innkreis und Rücktransport nach Groß-Enzersdorf

3.1.3 Ablauf der Versuche

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Ablauf der Versuche am Schrägbodenstall für Mastschweine. Vor dem Beginn der Versuche war die Messeinrichtung des ILT an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf im Einsatz. Hier wurde sie am 07.07.2003 abgebaut und transportsicher verpackt. Mitarbeiter der HBLFA Raumberg-Gumpenstein unterstützten das ILT beim Transport der Messeinrichtung zum Schrägbodenstall für Mastschweine. Dort wurde die Messeinrichtung noch am gleichen Tag wieder aufgebaut. Dies war erforderlich, da das FTIR Spektrometer ein sensibles Messinstrument ist, welches nur eine kurzzeitige Außer-Betriebsnahme verkraftet. Es muss stets mit trockener und CO₂-freier Luft gespült werden, um Kondensationen am Strahlteiler zu vermeiden. Der Laser des FTIR Spektrometers muss kontinuierlich eingeschaltet sein, um eine gleichbleibende Strahlungsintensität zu gewährleisten.

Der Aufbau der Messeinrichtung wurde gemeinsam von Mitarbeitern des ILT und der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt. Auch Familie Kasinger stand helfend zur Seite. Zunächst musste das mobile Büro des ILT wieder eingeräumt werden. Kompressor und Adsorptionstrockner wurden installiert. Anschließend wurden die Probenahmeschläuche für Zuluft und Abluft verlegt. Hierzu musste an den Abluftkaminen der drei Stallabteile eine Vorrichtung für die Probenahme der Abluft geschaffen werden. Die HBLFA

Raumberg-Gumpenstein installierte die Volumenstrommessung in den Abluftkaminen und die Klimaaufzeichnung in den drei Stallabteilen und außerhalb des Stalles.

Am 08.07.2003 begannen die Probemessungen am Schrägbodenstall für Mastschweine. Es wurde ein Überblick über die Höhe der Emissionen und deren Variabilität im Tagesverlauf gewonnen. Die Daten wurden sofort ausgewertet und auf ihre Plausibilität geprüft.

Ab dem 14.07.2003 konnte mit den eigentlichen Emissionsmessungen begonnen werden. Die Emissionen wurden ohne Pause, 24 Stunden am Tag, bis zum 20.04.2004 gemessen. Die Datenauswertung erfolgte laufend, um stets einen Überblick über das Emissionsgeschehen zu haben und im Falle von Störungen sofort eingreifen zu können. Neben den Emissionen wurden Luftdurchsatz und Klimawerte kontinuierlich aufgezeichnet. Das Gewicht der Schweine wurde wöchentlich notiert. Hierzu stellte Herr Kasinger seine Computer-Aufzeichnungen zur Verfügung.

Der Abluftschlauch wurde alle zwei Tage zwischen den drei Abteilen gewechselt, so dass jedes Abteil mindestens einmal pro Woche für 48 Stunden beprobt wurde. Mit dem gewählten Design konnten zu jeder Jahreszeit (kalte, gemäßigte, warme Temperaturen) und bei jedem Gewichtsabschnitt (geringes, mittleres, hohes Gewicht) Emissionen gemessen werden. Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Höhe der Emissionen konnten so erfasst werden.

Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, wurde beim FTIR Spektrometer dreimal wöchentlich ein Backgroundspektrum aufgenommen. Es ist die Grundlage für die Gaskonzentrationsanalysen und muss regelmäßig aktualisiert werden. Auch der FID wurde dreimal wöchentlich kalibriert. Diese Routinearbeiten wurden zweimal pro Woche von Herrn Kasinger durchgeführt, der für diese Arbeiten vom ILT eingeschult worden war. Einmal wöchentlich fuhr eine Mitarbeiterin der HBLFA Raumberg-Gumpenstein nach Weng/Innkreis, um Background und Kalibration vorzunehmen. Mitarbeiter des ILT waren ebenfalls regelmäßig in Weng / Innkreis, um die Messungen zu betreuen. Zusätzlich wurden die gewonnenen Daten mehrmals wöchentlich per E-Mail an das ILT übermittelt und dort sofort auf Plausibilität geprüft.

Diese intensive Betreuung stellte sicher, dass es nur zu sehr kurzen Messausfällen kam und fast alle gewonnenen Daten auch für die endgültige Auswertung heran gezogen werden konnten. Dies ist in anderen Arbeiten häufig nicht der Fall. Bei Emissionsmessungen in der Praxis muss man üblicherweise mit einem Datenverlust von 40 - 70 % rechnen (GALLMANN 2003 [23], BROSE 2000 [18], RATHMER 2002 [30], NIEBAUM 2001 [28]).

Am 21.04.2004 wurde die Messeinrichtung des ILT wieder abgebaut und zurück an die Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf gebracht. Auch hier wurde das ILT von Mitarbeitern der HBLFA

Tabelle 2. Eckdaten der Versuchsbedingungen während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall

	Abteil 1 ^a	Abteil 2 ^b	Abteil 3 ^c
<i>Periode 1</i>			
Beginn	2003-07-14	2003-07-28	2003-07-21
Ende	2003-10-27	2003-11-24	2003-09-20
Tage	106	120	62
Gewicht Anfang	47,0	31,0	60,7
Gewicht Ende	105,6	99,2	110,0
\bar{x} Gewicht [kg]	70,3	62,2	85,5
\bar{x} Stalltemp. [°C]	23,5	22,5	24,1
\bar{x} Außentemp. [°C]	15,7	11,1	20,7
<i>Periode 2</i>			
Beginn	2003-10-30	2003-11-28	2003-09-29
Ende	2003-12-31	2004-03-05	2004-01-28
Tage	63	99	122
Gewicht Anfang	30,0	31,8	32,5
Gewicht Ende	74,4	103,8	106,9
\bar{x} Gewicht [kg]	51,9	67,8	69,7
\bar{x} Stalltemp. [°C]	21,4	20,5	19,7
\bar{x} Außentemp. [°C]	1,3	0,3	2,8

^aSchwemmentmistung^bSchrappentmistung^cSchrappentmistung

Raumberg-Gumpenstein intensiv unterstützt.

Tabelle 2 zeigt die Eckdaten der Versuchsbedingungen während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall. Zwei unterschiedliche Entmistungssysteme wurden untersucht: Schwemmentmistung (Abteil 1) und Schrappentmistung (Abteile 2 und 3). Zusätzlich wurde über das ursprünglich geplante Versuchsprogramm hinaus die Wirkung des Zusatzes „Effektive Mikroorganismen (EM)“ auf den Umfang der Emissionen untersucht. Details hierzu finden sich in Kapitel 3.1.4.

Die erste Messperiode fand unter warmen bis mäßig warmen Bedingungen statt. Sie begann im Juli 2003 und dauerte bis September (Abteil 3), Oktober (Abteil 1), bzw. November (Abteil 2). Das Ende von Periode 1 ergibt sich aus dem Mastende in den unterschiedlichen Abteilen. Zu Versuchsbeginn wogen die Schweine zwischen 31,0 und 60,7 kg. Die Stallinnentemperatur war in den Abteilen mit Schwemmentmistung und Schrappentmistung ähnlich hoch

Tabelle 3. In EM identifizierte Mikroorganismen

Mikroorganismen	Spezies / Stoffwechsel
Milchsäure Bakterien (Lactic Acid Bacteria)	Lactobacillus plantarum Lactobacillus casei → homofermentativ, haupts. Milchsäure aus Zucker
Schwefel; Nicht-Schwefel- Purpurbakterien	Rhodospseudomonas palustris → photohetero-, photoautotroph, oxidieren H ₂ S zu elementarem Schwefel
Obergärrige Hefen	Saccharomyces cerevisiae → Ethanol aus Zucker, aerob-anaerob-Wechsel
Schimmelpilze	Zellulose-Lignin-Abbau
Andere MO	Ubiquitäre MO, die in natürlicher Umgebung unter pH 3,5 vorkommen

und betrug im Mittel rund 23 °C. Die mittlere Außentemperatur schwankte zwischen 11,1 und 20,7 °C, je nachdem, ob die Periode im September oder erst im November endete.

Die zweite Periode erstreckte sich über die Wintermonate von Oktober 2003 bis März 2004. Die Schweine in allen drei Abteilen wogen zu Versuchsbeginn rund 30,0 kg. In Abteil 1 wurde die Datenaufnahme für Periode 2 Ende Dezember 2003 beendet und anschließend die Wirkung von EM im Stall untersucht (siehe Kap. 3.1.4). In den Abteilen 2 und 3 dauerte die Messperiode 2 bis zum Mastende. Trotz deutlich niedrigerer Außentemperatur lag die Stallinnentemperatur nur um rund 3 °C unter der in Periode 1 gemessenen.

3.1.4 Einsatz des Zusatzes „Effektive Mikroorganismen (EM)“ im Schrägbodenstall für Mastschweine

Das Zusatzmittel „Effektive Mikroorganismen (EM)“ wird im Bereich der Tierhaltung zur Reduzierung von Geruch, Ammoniak und klimarelevanten Gasen im Stall und/oder bei der Wirtschaftsdüngerlagerung eingesetzt. EM enthält die in Tabelle 3 angeführten Mikroorganismen verschiedener Typen und Spezies.

Die Firma Multikraft Gesellschaft mbH finanzierte Versuche, die die Wirkung von EM auf Emissionen aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine klären sollten. So konnte — ohne eine zusätzliche Kostenbelastung für das BMLFUW — eine weitere hoch aktuelle Versuchsfrage im laufenden For-

schungsprojekt bearbeitet werden.

Die Wirkung von EM-Anwendung im Stall wurde in Abteil 1, dem Abteil mit Schwemmentmistung geprüft. Damit die in EM enthaltenen Mikroorganismen eine optimale Wirkung im Stall entfalten können, muss EM als wässrige Lösung im gesamten Stall versprüht werden. In dem untersuchten Schrägbodenstall war EM zuvor noch nie zum Einsatz gekommen. Deshalb wurde zu Beginn der Versuche, am 03.01.2004, eine Lösung mit erhöhter EM-Konzentration versprüht. 7 Liter EM wurden mit 7 Liter Wasser vermischt und täglich im Stall versprüht. Ab dem 21.01.2004 wurde die täglich versprühte Menge auf 4 Liter EM in 4 Litern Wasser reduziert.

Ab dem 08.03.2004 wurde zusätzlich zum versprühten EM noch EM-FKE dem Flüssigfutter aller Schweine zugesetzt. 3 Liter EM wurden in 1000 Liter Futtersuppe gemischt und über 3 Mahlzeiten am Tag verteilt gefüttert.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Versuchsanordnung zur Untersuchung der Wirkung von EM. EM-Einsatz im Stall wurde in Abteil 1 (Schwemmentmistung) im Jänner und Februar 2004 geprüft. Die Schweine wogen am Anfang 74,7 kg und am Ende 110,0 kg. Die mittlere Stalltemperatur betrug 20,2 °C, die mittlere Außentemperatur 0,8 °C.

Als Vergleichsperiode für Emissionen ohne den Einsatz von EM in Abteil 1 wurde der Zeitraum September – Oktober 2003 gewählt. Die Schweine waren ähnlich schwer wie im Zeitraum des EM-Einsatzes. Auch die mittlere Stalltemperatur bewegte sich in einem ähnlichen Bereich. Diese Bedingungen ermöglichen einen Vergleich der Emissionen mit und ohne Versprühen von EM im Stall.

Von März bis April 2004 wurde EM-FKE dem Futter aller Mastschweine zugesetzt. In Abteil 1 wurden Anfang März junge Mastschweine mit einem Gewicht von 31,0 kg neu eingestallt. In Abteil 2 waren zunächst fast ausgemästete Schweine mit einem Gewicht von 105,0 kg. Nach dem Ausstallen wurden auch hier junge Mastschweine eingestallt, die am Ende der Versuche 41,9 kg wogen. In Abteil 3 wogen die Schweine zu Beginn 44,8 kg und am Ende 75,1 kg. Die mittlere Stalltemperatur betrug rund 20,0 °C. Die mittlere Außentemperatur lag bei rund 8,0 °C.

Tabelle 4. Eckdaten der Versuchsbedingungen zur Untersuchung der Wirkung von EM im Schrägbodenstall

	Abteil 1 ^a	Abteil 2 ^b	Abteil 3 ^c
<i>ohne EM</i>			
Beginn	2003-09-01	—	—
Ende	2003-10-27	—	—
Tage	55	—	—
Gewicht Anfang	73,6	—	—
Gewicht Ende	105,6	—	—
\bar{x} Gewicht [kg]	86,6	—	—
\bar{x} Stalltemp. [°C]	22,0	—	—
\bar{x} Außentemp. [°C]	10,2	—	—
<i>EM im Stall</i>			
Beginn	2004-01-01	—	—
Ende	2004-02-25	—	—
Tage	55	—	—
Gewicht Anfang	74,7	—	—
Gewicht Ende	110,0	—	—
\bar{x} Gewicht [kg]	90,9	—	—
\bar{x} Stalltemp. [°C]	20,2	—	—
\bar{x} Außentemp. [°C]	0,8	—	—
<i>EM-FKE im Futter</i>			
Beginn	2004-03-04	2004-03-10	2004-03-05
Ende	2004-04-16	2004-04-19	2004-04-20
Tage	44	33	46
Gewicht Anfang	31,0	105,0	44,8
Gewicht Ende	65,0	41,9	75,1
\bar{x} Gewicht [kg]	47,4	72,0	60,0
\bar{x} Stalltemp. [°C]	20,9	21,1	19,8
\bar{x} Außentemp. [°C]	7,4	9,2	6,45

^aSchwemmentmistung^bSchrappentmistung^cSchrappentmistung

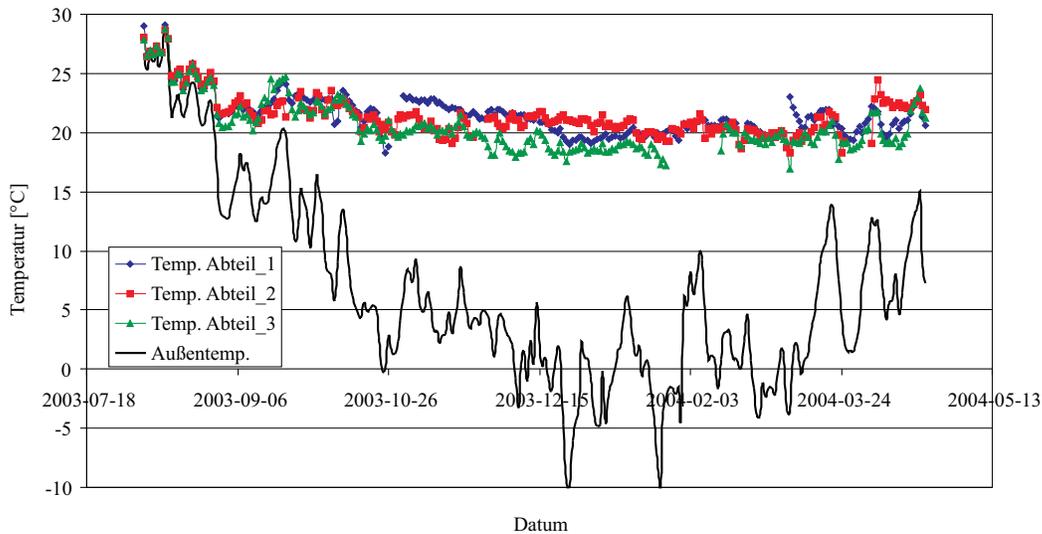


Abb. 4. Mittlere tägliche Temperaturen im Stall und in der Außenluft während der Emissionsmessungen am Schrägbodenstall

3.2 Ergebnisse aus dem Bereich „Schrägbodenstall“

3.2.1 Stall- und Außentemperatur

In allen drei Stallabteilen wurde an jeweils zwei Messstellen und außerhalb des Stalles an einer Messstelle stündlich Temperatur und relative Luftfeuchte gemessen. Die aufgezeichneten Daten wurden zu Tagesmittelwerten zusammengefasst. Die mittleren Tagestemperaturen sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Außentemperatur variierte im Jahresverlauf stark. Im Sommer wurden an einigen Tagen Werte von über 25°C erreicht. Im Winter sank die Außentemperatur auf -10°C ab. Aufgrund der temperaturgesteuerten Stallentlüftung spiegelten sich die Schwankungen der Außentemperatur kaum in der Stalltemperatur wider. Die Stalltemperaturen zeigten nur geringe Schwankungen. In den heißen Sommermonaten waren sie um rund 5°C höher als in den kalten Wintermonaten.

3.2.2 Gewichtsentwicklung der Schweine

Während der Emissionsmessungen wurde die Gesamtemission im zentralen Abluftkamin der drei Stallabteile gemessen. Um aus den Messungen Emissionsfaktoren für den Schrägbodenstall ableiten zu können und um die Daten mit Werten aus der Literatur vergleichen zu können, müssen die in Sum-

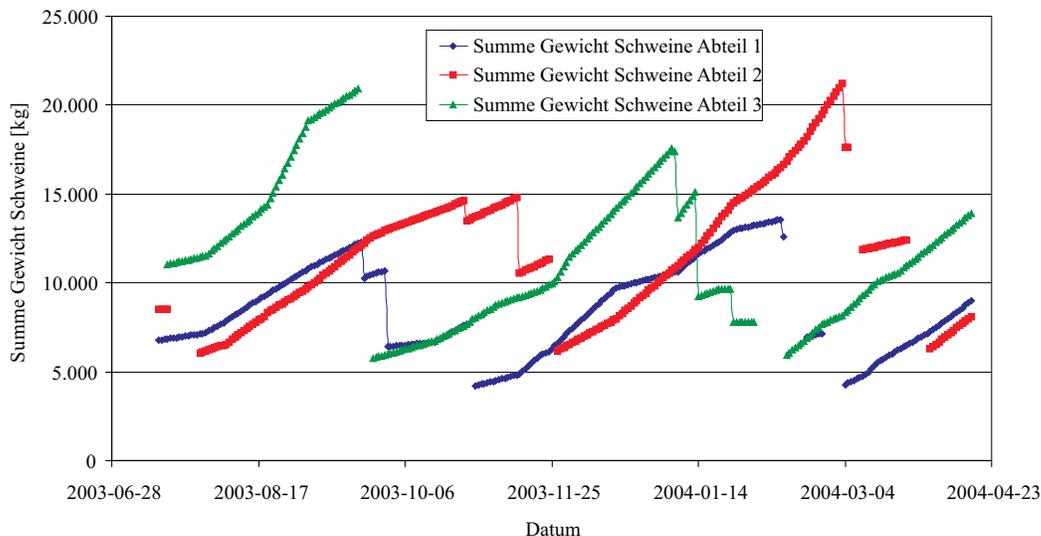


Abb. 5. Gesamtsumme an Schweinegewicht während der Emissionsmessungen in den drei Stallabteilen

me gemessenen Emissionen auf das Gewicht der Schweine zu jedem Messzeitpunkt bezogen werden. Der Landwirt, Herr Kasinger, führt sehr genaue Aufzeichnungen über die Gewichtsentwicklung seiner Schweine. Wöchentlich wurde das durchschnittliche Gewicht der Schweine mit der Anzahl an Schweinen in jedem Abteil multipliziert. So errechnete sich das Gesamtgewicht an Schweinen, das in den drei Abteilen vorhanden war. Dieses ist in Abbildung 5 dargestellt.

Aus Abbildung 5 ist eine regelmäßige Aufwärtstendenz im Schweinegewicht zu erkennen. Gegen Ende jeder Mastperiode fällt das Gesamtgewicht im Stall in Stufen ab. Auf dem Betrieb Kasinger werden nicht alle zu Beginn eingestellten Schweine gleichzeitig ausgestallt. Gegen Ende jeder Mastperiode werden über einen Zeitraum von einigen Wochen immer wieder Tiere aus den Abteilen entfernt. Dies führt zu einer sprunghaften Abnahme des Gesamtgewichtes im Stall, die in Abbildung 5 ersichtlich ist. Nach dem Ende eines Mastdurchganges stehen die Abteile kurzzeitig leer, bevor wieder neue Schweine mit einem Gewicht von etwa 30,0 kg eingestallt werden.

3.2.3 Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung)

Während der Messperiode wurde pro Stunde zweimal die Gaskonzentration in der Zuluft und viermal die Gaskonzentration in der Stallluft gemessen. Aus der Differenz beider Werte ergibt sich die aus dem Stall emittierte Menge

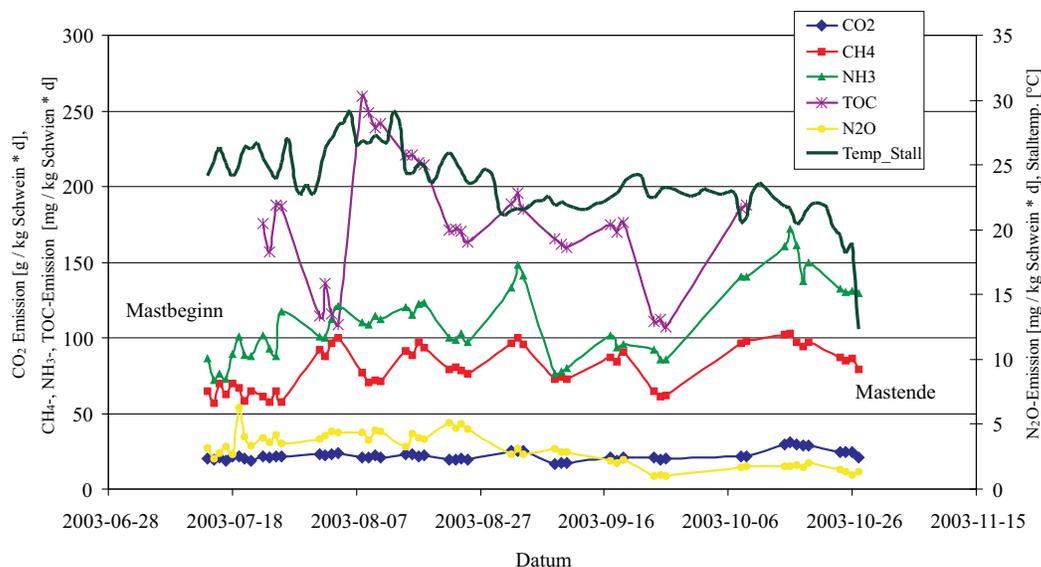


Abb. 6. Stallinnentemperatur, CO_2 -, CH_4 -, N_2O -, NH_3 -, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung), erste Messperiode

an Gasen. Dieser Wert muss mit der jeweiligen Luftwechselrate multipliziert werden, um zur quantitativen Emission zu kommen. Die Emissionsrate von jedem Abteil wurde rund 48 Stunden lang kontinuierlich gemessen, dann wechselte die Messung zum nächsten Abteil. Aus der ermittelten Emissionsrate pro Stunde wurde eine mittlere Emission pro Tag errechnet. Die Gesamtemission wurde durch das aktuelle Schweinegewicht im Stall dividiert. Daraus ergibt sich die mittlere Emission pro kg Schwein und Stunde. Dieser Werte multipliziert mit 24 ergibt die tägliche Emission je kg Schwein. Diese ist für Abteil 1 in den Abbildungen 6, 7 und 8 dargestellt.

Die erste Messperiode erstreckte sich von Juli bis Oktober 2003 (Abb. 6). Im Juli und August war die Stallinnentemperatur deutlich höher als in den Monaten September und Oktober. Gegen Ende der Mast, nach dem Ausstallen der Schweine, sank die Stallinnentemperatur auf unter 15°C ab. CO_2 -, CH_4 - und N_2O -Emissionen je kg Schwein und Tag zeigten im Verlauf der Mast keine großen Schwankungen. Die TOC-Emissionen erreichten in den heißen Sommermonaten ein Maximum. Bei den NH_3 -Emissionen wurde gegen Ende der Mast ein Anstieg beobachtet.

Die zweite Messperiode erfasste Emissionen unter kühlen Winterbedingungen von Oktober 2003 bis Februar 2004 (Abb. 7). Zu Beginn lag die Stallinnentemperatur noch bei rund 22°C und pendelte sich dann auf Werte

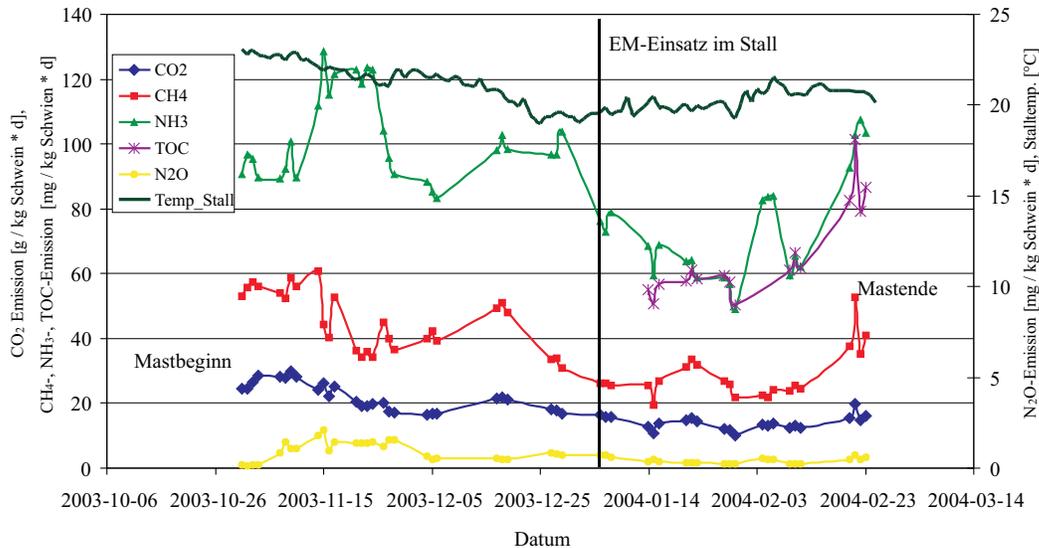


Abb. 7. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmistung), zweite Messperiode

um 20 °C ein. CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen lagen im November noch auf einem leicht erhöhten Niveau und sanken ab Dezember auf ein niedrigeres Niveau ab. Gegen Ende der Mast wurde ein Anstieg der CH₄-Emissionen je kg Schwein und Tag gemessen. Auch die NH₃-Emissionen waren im November deutlich höher als im Dezember. Ihr niedrigstes Niveau erreichten sie im Jänner. Wie auch in Periode 1, so stiegen die NH₃-Emissionen in Periode 2 gegen Mastende an. Die TOC-Emissionen konnten auf Grund von Wartungsarbeiten am Messgerät nur gegen Mastende von Jänner bis Februar 2004 gemessen werden. In dieser Zeit wurde ein deutlicher Anstieg der Emissionen beobachtet.

Während der dritten Messperiode von März bis April 2004 wurde EM in Abteil 1 EM versprüht und gleichzeitig EM-FKE dem Futter der Schweine zugesetzt (Abb. 8). Die Messungen endeten etwa bei der Hälfte der Mastdauer. Im Messzeitraum schwankte die Stallinnentemperatur zwischen etwa 20 und 22 °C. Bei den CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen wurde im Messzeitraum kein eindeutiger Trend beobachtet. Die NH₃- und TOC-Emissionen je kg Schwein und Tag waren zu Beginn der Messungen etwas höher als gegen Ende.

Tabelle 5 fasst die mittleren Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung) zusammen. CO₂-Emissionen sind in g CO₂ je kg Schwein und Tag angegeben. Die übrigen gasförmigen Emissionen sind in mg je kg Schwein und

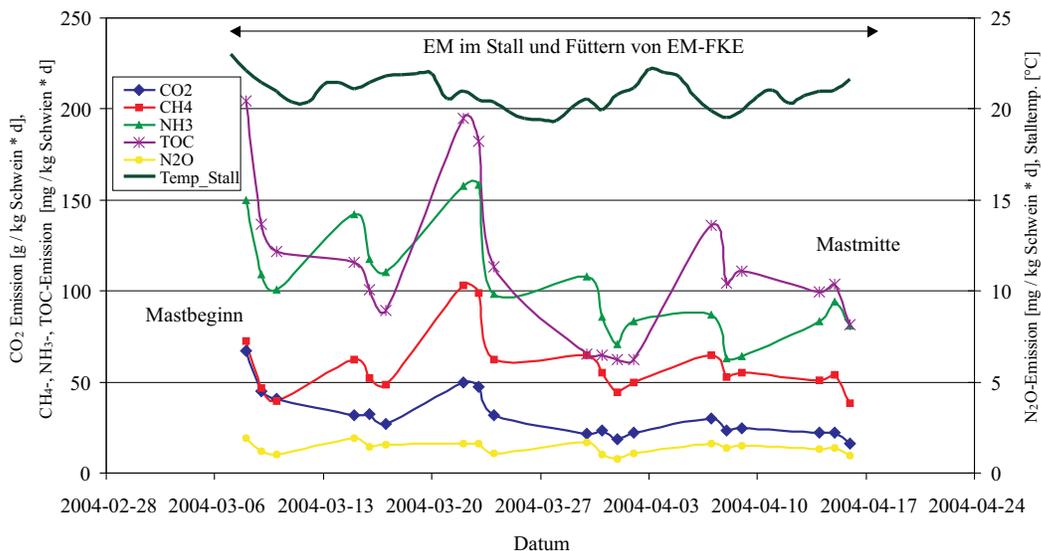


Abb. 8. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 1 (Schwemmentmischung) während der Verfütterung von EM-FKE

Tabelle 5. Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 1 (Schwemmentmischung) während der drei Messperioden

Emissionen von	Mittlere Emission		
	Periode 1 warm	Periode 2 kühl	Periode 3 EM im Futter
CO ₂ [g/kg Schwein · d]	22,07	22,01	31,42
CH ₄ [mg/kg Schwein · d]	80,22	45,41	58,77
N ₂ O [mg/kg Schwein · d]	3,07	0,96	1,38
NH ₃ [mg/kg Schwein · d]	110,36	101,88	103,36
TOC [mg/kg Schwein · d]	176,47		113,16

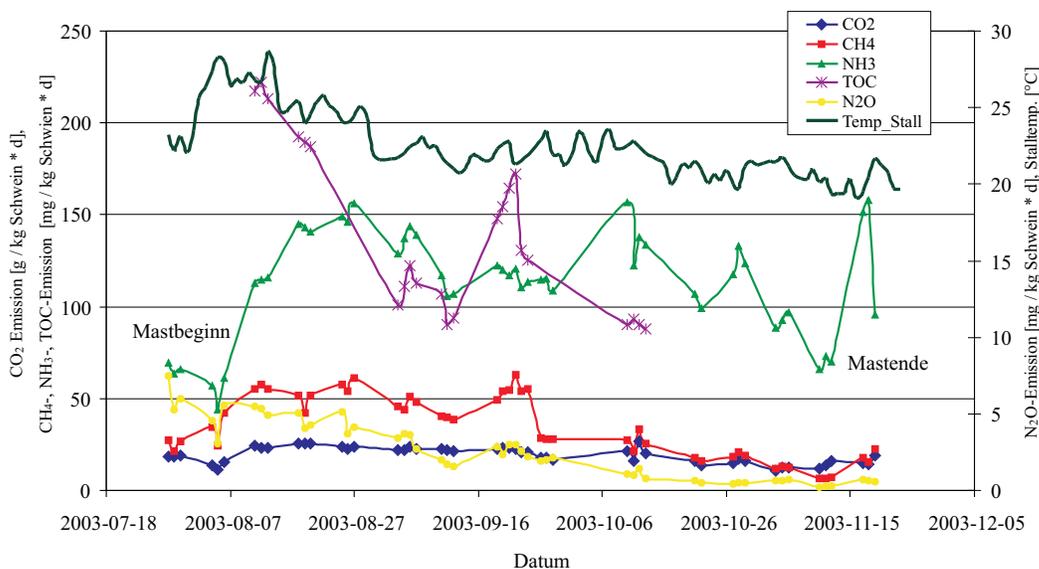


Abb. 9. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmistung), erste Messperiode

Tag angeführt. In Periode 1 und 2 betragen die mittleren CO₂-Emissionen jeweils rund 22 g CO₂ je kg Schwein und Tag. In der dritten Periode lagen die CO₂-Emissionen etwas höher. Hier wurde nur die Emission von jungen Schweinen gemessen, die auf Grund ihrer höheren Aktivität pro kg Körpergewicht relativ mehr CO₂ abgeben als ältere Tiere. Die CH₄-, N₂O- und TOC-Emissionen waren in der warmen Sommerperiode deutlich höher als in den kühleren Winterperioden. Bei den NH₃-Emissionen blieben die gemessenen Emissionen während der gesamten Versuchsdauer auf ähnlich hohem Niveau.

3.2.4 Emissionen aus Abteil 2 (Schrappentmistung)

Die mittlere Emission pro kg Schwein und Tag aus Abteil 2 (Schrappentmistung) ist in den Abbildungen 9, 10 und 11 dargestellt.

Die erste Messperiode begann Mitte Juli und endete Ende November 2003 (Abb. 9). Sie erstreckte sich über eine volle Mastperiode. Im August betrug die Stallinnentemperatur 25 °C und mehr. Ab September pendelte sie sich auf Werte um 20 °C ein. Im August, bei erhöhter Stallinnentemperatur, waren die CO₂-, und CH₄-Emissionen auf höherem Niveau, sanken im Verlauf des September ab und pendelten sich dann auf ein relativ konstantes Niveau ein. Bei den N₂O-Emissionen wurden nur geringfügige Schwankungen in Messpe-

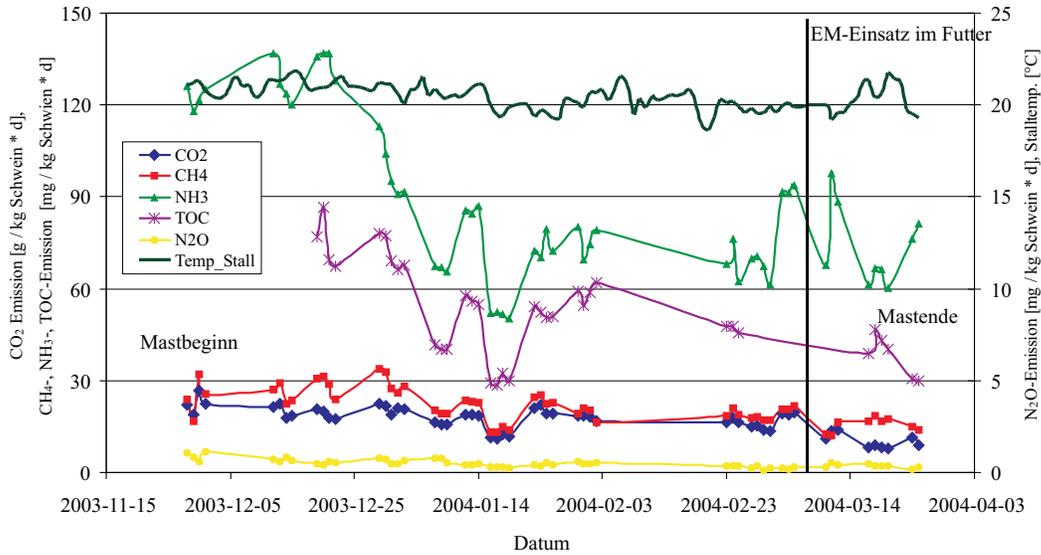


Abb. 10. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmistung), zweite Messperiode

riode 1 gemessen. Die NH₃-Emissionen stiegen zu Beginn der Mast an und blieben bis auf ein kurzes Absinken gegen Ende der Mast auf ähnlich hohem Niveau.

Die zweite Messperiode erfasste Emissionen unter kühlen Winterbedingungen (Abb. 10). Kurz vor Mastende startete der Versuch mit EM-FKE-Zusatz im Schweinefutter. Die Stallinnentemperatur schwankte während der gesamten Messperiode um rund 20 °C. CO₂-, CH₄-Emissionen zeigten einen nahezu parallelen Verlauf mit nur geringen Schwankungen. Die N₂O-Emissionen blieben während der gesamten Messperiode auf niedrigem Niveau. Die NH₃-Emissionen waren bis Ende Dezember hoch und sanken dann auf ein deutlich niedrigeres Niveau ab. Auch die TOC-Emissionen zeigten im Verlauf der Messperiode eine leicht fallende Tendenz.

Während der dritten Messperiode im April 2004 wurde EM-FKE dem Futter der Schweine zugesetzt (Abb. 11). Die Schweine waren zu Beginn der Messperiode neu eingestallt worden und wogen gegen Ende 42 kg. Die Stallinnentemperatur stieg in den ersten Tagen der Mast an und pendelte sich dann auf Werte um 22 °C ein.

CO₂-, CH₄-, NH₃- und TOC-Werte waren in den ersten Masttagen deutlich erhöht. Dies liegt vermutlich in der vermehrten Aktivität der Tiere begründet, die nach dem Neu-Einstallen zu beobachten war. Bei den N₂O-

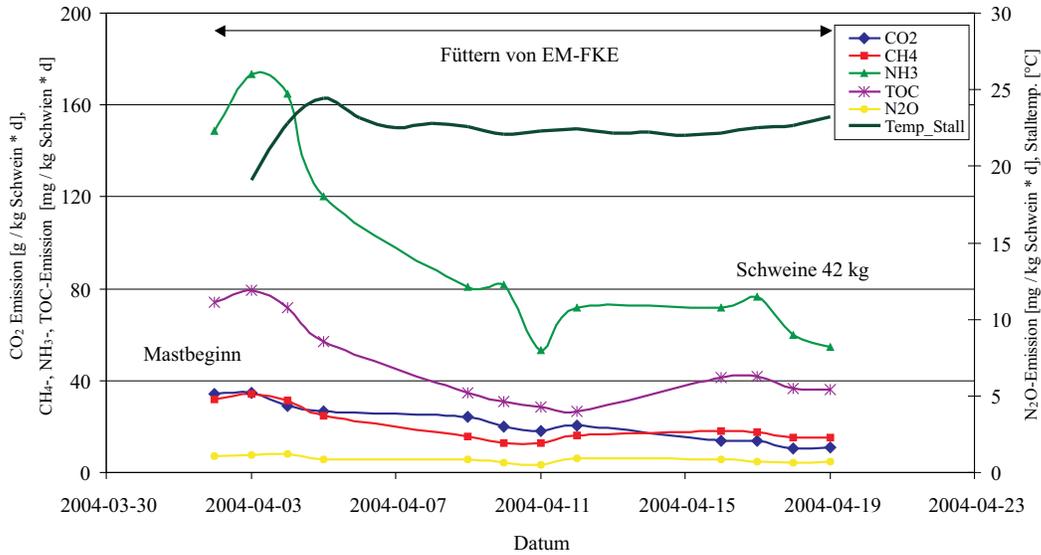


Abb. 11. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 2 (Schrappentmischung) während der Verfütterung von EM-FKE

Emissionen wurden im Messzeitraum kaum Schwankungen beobachtet.

Tabelle 6 fasst die mittleren Emissionen aus Abteil 2 (Schrappentmischung) zusammen. CO₂-Emissionen sind in g CO₂ je kg Schwein und Tag angegeben. Die übrigen gasförmigen Emissionen sind in mg je kg Schwein und Tag angeführt.

Die mittleren CO₂-Emissionen variierten zwischen 18,25 und 21,35 g CO₂ je kg Schwein und Tag. Die CH₄-Emissionen waren in der warmen Messperiode mit 34,69 mg CH₄ je kg Schwein und Tag deutlich höher als in den beiden kühlen Messperioden.

Der gleiche Trend zeigte sich bei den N₂O-Emissionen, deren Mittelwert in der warmen Periode 2,58 mg N₂O je kg Schwein und Tag betrug. Die mittlere NH₃-Emission sank in den kühleren Perioden von 112,79 mg NH₃ je kg Schwein und Tag auf rund 90–95 mg NH₃ je kg Schwein und Tag ab. Die mittleren TOC-Emissionen in den kühleren Messperioden betrugen mit rund 50 mg TOC je kg Schwein und Tag nur rund ein Drittel der Emissionen in der warmen Periode.

Tabelle 6. Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 2 (Schrappertmistung) während der drei Messperioden

Emissionen von	Mittlere Emission		
	Periode 1 warm	Periode 2 kühl	Periode 3 EM im Futter
CO ₂ [g/kg Schwein · d]	19,22	18,25	21,35
CH ₄ [mg/kg Schwein · d]	34,69	22,45	20,50
N ₂ O [mg/kg Schwein · d]	2,58	0,50	0,84
NH ₃ [mg/kg Schwein · d]	112,79	89,84	96,48
TOC [mg/kg Schwein · d]	139,80	55,10	46,55

3.2.5 Emissionen aus Abteil 3 (Schrappertmistung)

Die mittlere Emission pro kg Schwein und Tag aus Abteil 3 (Schrappertmistung) ist in den Abbildungen 12, 13 und 14 dargestellt.

In Abteil 3 begann die erste Messperiode Mitte Juli und endete Mitte September 2003 mit dem Ausstallen der ausgemästeten Schweine (Abb. 12). Bei Beginn der Messperiode hatten die Schweine bereits ein Gewicht von 60,7 kg. Im Juli und August 2003 erreichte die Stallinnentemperatur Werte zwischen 25 und fast 30 °C. Bei den mittleren CO₂- und N₂O-Emissionen je kg Schwein und Tag wurden im Laufe der ersten Messperiode in Abteil 3 nur geringfügige Schwankungen gemessen. Die CH₄- und NH₃-Emissionen stiegen im August an und erreichten Anfang September ein Maximum.

Die zweite Messperiode in Abteil 3 erfasste Emissionen unter kühlen Winterbedingungen während einer gesamten Mastperiode (Abb. 13). Bis Mitte Oktober bewegte sich die Stallinnentemperatur bei rund 22 °C und pendelte sich anschließend um 20 °C ein. Ab Anfang Dezember sank sie leicht unter 20 °C ab. Die CO₂- und CH₄-Emissionen waren im Oktober auf einem etwas höheren Niveau als in der restlichen Messperiode. Bei den NH₃-Emissionen wurde gegen Ende der Mast ein deutlicher Anstieg der mittleren Emission je kg Schwein und Tag gemessen. Die N₂O-Emissionen blieben während der gesamten Messperiode auf niedrigem Niveau. Bei den TOC-Emissionen wurde gegen Ende ein leichtes Abfallen beobachtet.

Während der dritten Messperiode von Februar bis April 2004 wurde ab März 2004 EM-FKE dem Futter der Schweine zugesetzt (Abb. 14). Die Schweine waren zu Beginn der Messperiode neu eingestallt worden und wogen gegen Ende 75 kg. Die Stallinnentemperatur bewegte sich in der dritten Messperiode um 20 °C. Bei den CO₂-, CH₄-, NH₃- und TOC-Emissionen wurde im Verlauf der Messperiode ein fallender Trend beobachtet, der besonders nach

3 EMISSIONEN AUS DEM SCHRÄGBODENSTALL

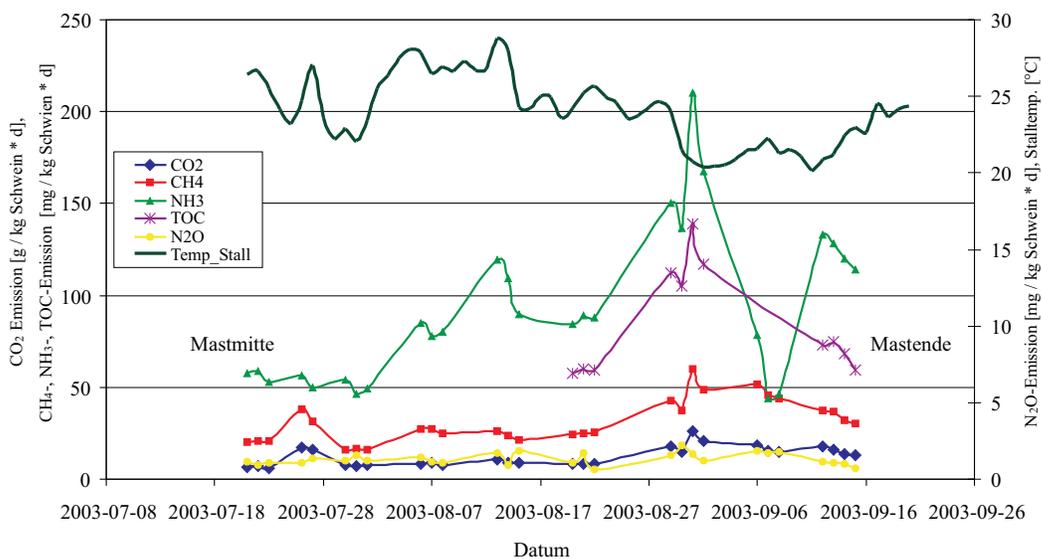


Abb. 12. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmischung), erste Messperiode

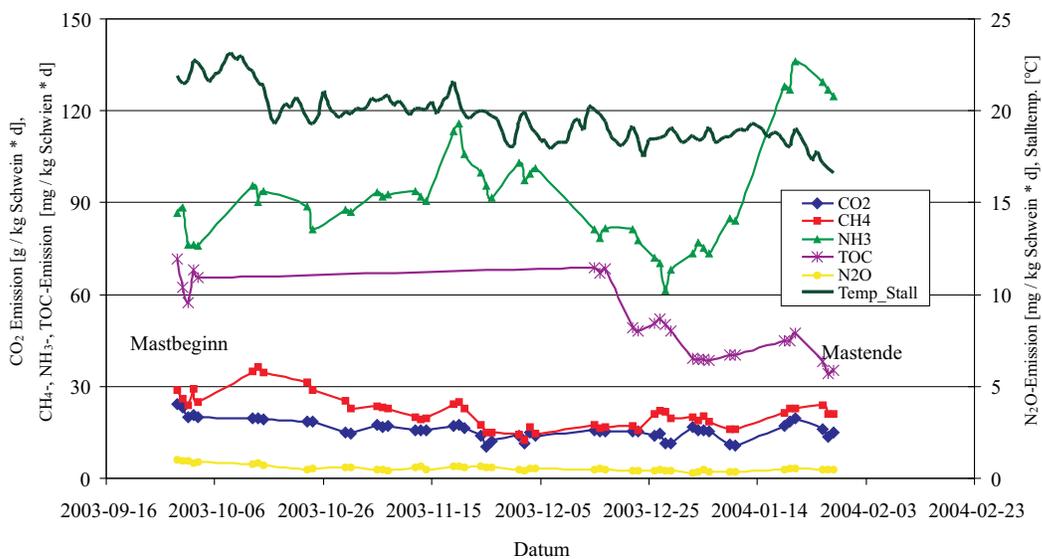


Abb. 13. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmischung), zweite Messperiode

3 EMISSIONEN AUS DEM SCHRÄGBODENSTALL

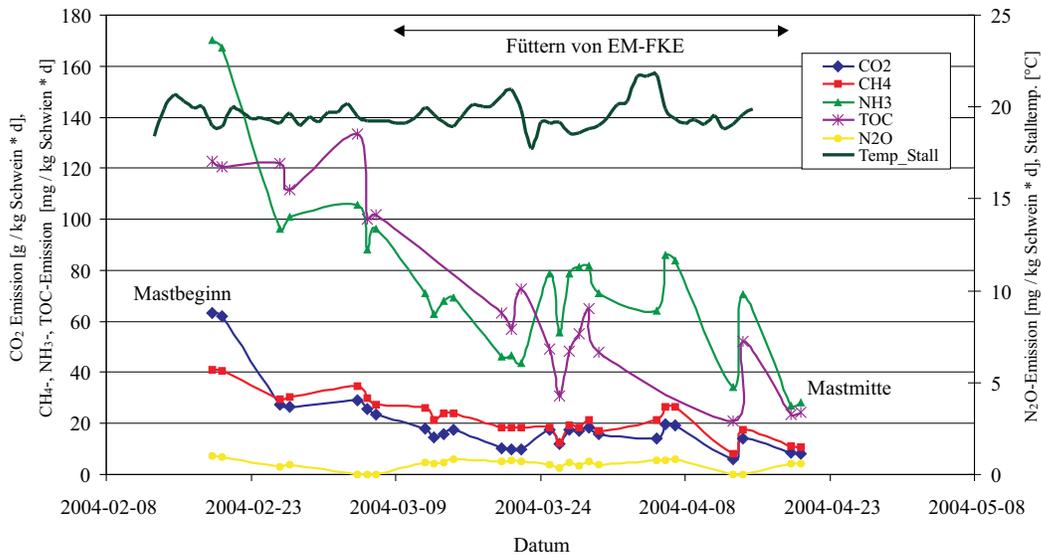


Abb. 14. Stallinnentemperatur, CO₂-, CH₄-, N₂O-, NH₃-, und TOC-Emissionen je Tag und kg Schwein aus Abteil 3 (Schrappentmischung) während der Verfütterung von EM-FKE

Beginn der Verfütterung von EM-FKE sichtbar wurde. Die N₂O-Emissionen blieben während der gesamten Messperiode auf konstant niedrigem Niveau.

Tabelle 7 fasst die mittleren Emissionen aus Abteil 3 (Schrappentmischung) zusammen. CO₂-Emissionen sind in g CO₂ je kg Schwein und Tag angegeben. Die übrigen gasförmigen Emissionen sind in mg je kg Schwein und Tag angeführt. Die mittleren CO₂-Emissionen variierten zwischen 12,22 und 16,05 kg CO₂ je kg Schwein und Tag. Die CH₄-Emissionen waren in der warmen Messperiode mit 31,14 mg CH₄ je kg Schwein und Tag deutlich höher als in den beiden kühlen Messperioden. Der gleiche Trend zeigte sich bei den N₂O-Emissionen, deren Mittelwert in der warmen Periode 1,32 g N₂O je kg Schwein und Tag betrug. Die mittlere NH₃-Emission betrug in Messperiode 1 und 2 rund 92 mg NH₃ je kg Schwein und Tag. In der Periode mit Verfütterung von EM-FKE wurden mittlere NH₃-Emissionen von 66,90 mg NH₃ je kg Schwein und Tag gemessen. Die mittleren TOC-Emissionen beliefen sich in der ersten, warmen Periode auf 84,18 mg TOC je kg Schwein und Tag. In den beiden kühlen Perioden ergab sich ein Mittelwert von 50,31 und 59,06 mg TOC je kg Schwein und Tag.

Tabelle 7. Mittlere Emissionen je kg Schwein und Tag aus Abteil 3 (Schrappentmistung) während der drei Messperioden

Emissionen von	Mittlere Emission		
	Periode 1 warm	Periode 2 kühl	Periode 3 EM im Futter
CO ₂ [g/kg Schwein · d]	12,22	16,05	15,75
CH ₄ [mg/kg Schwein · d]	31,14	21,70	20,46
N ₂ O [mg/kg Schwein · d]	1,32	0,55	0,51
NH ₃ [mg/kg Schwein · d]	92,02	92,14	66,90
TOC [mg/kg Schwein · d]	84,18	50,31	59,06

3.2.6 Vergleich der Emissionen im Sommer und Winter und bei Einsatz von EM im Stall

Dieses Kapitel stellt vergleichend die mittleren Emissionen aus den drei untersuchten Stallabteilen gegenüber. Die nachfolgenden Abbildungen unterscheiden die beiden in Tabelle 2 dargestellten Messperioden: Periode 1 Sommerbedingungen und Periode 2 Winterbedingungen. Zusätzlich ist der in Tabelle 4 beschriebene Vergleich von Emissionen aus Abteil 1 mit und ohne Versprühen von EM im Stall abgebildet.

Aus Abbildung 15 können die CO₂-Emissionen je kg Schwein und Tag entnommen werden. Sowohl im Sommer als auch im Winter waren die CO₂-Emissionen aus Abteil 1 (Schwemmentmistung) am höchsten. Dies liegt vermutlich in der größeren Menge an Flüssigmist begründet, die im Falle der Schwemmentmistung im Stall gelagert wird. In Abteil 3 waren die Schweine in der ersten Messperiode zu Versuchsbeginn bereits 60,7 kg schwer. Da CO₂-Emissionen besonders bei jungen Schweinen hoch sind, erklärt sich die niedrigere CO₂-Emission, die aus Abteil 3 gemessen wurde. Das Versprühen von EM im Stall führte zu einer deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen.

Bei den CH₄-Emissionen zeigte sich ein eindeutiger Effekt der Jahreszeit. In der warmen Sommerperiode wurden in allen drei Abteilen deutlich höhere Emissionen gemessen als in der kühleren Winterperiode (Abb. 16). CH₄-Emissionen sind stark temperaturabhängig und steigen mit der Temperatur an. Der Einsatz von EM führte zu einer deutlichen Reduktion der CH₄-Emissionen.

Bei den NH₃-Emissionen waren die Unterschiede zwischen Schwemmentmistung (Abteil 1) und Schrappentmistung (Abteile 2 und 3) weniger deutlich ausgeprägt als bei den CH₄-Emissionen. Auch die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintermessperiode waren nicht so groß wie bei den CH₄-

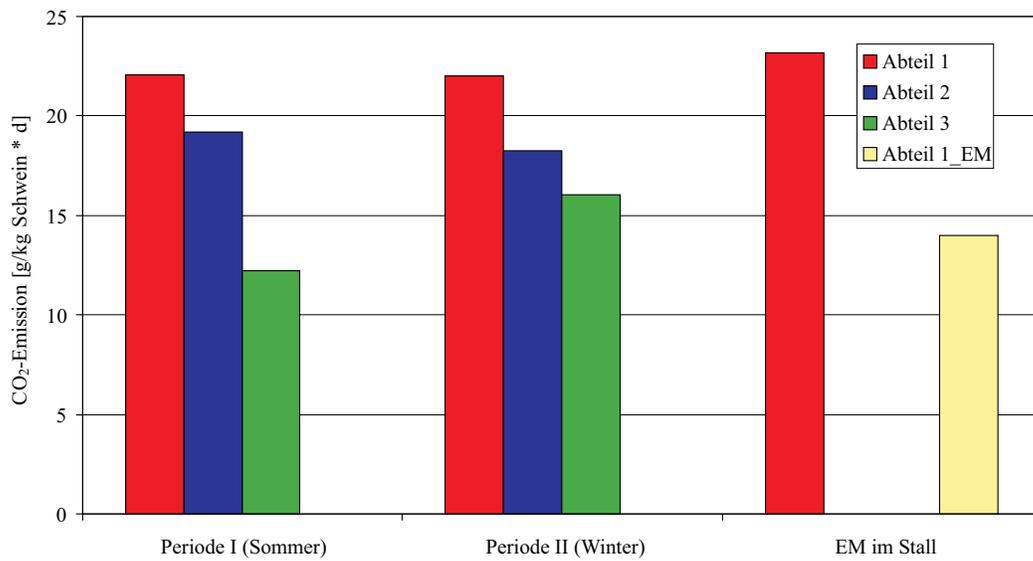


Abb. 15. CO₂-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall

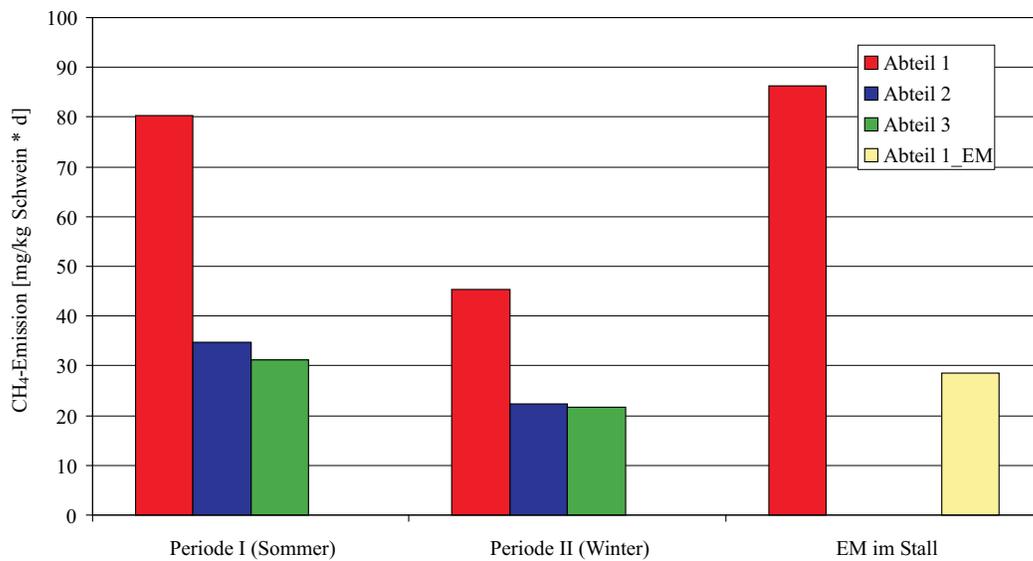


Abb. 16. CH₄-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall

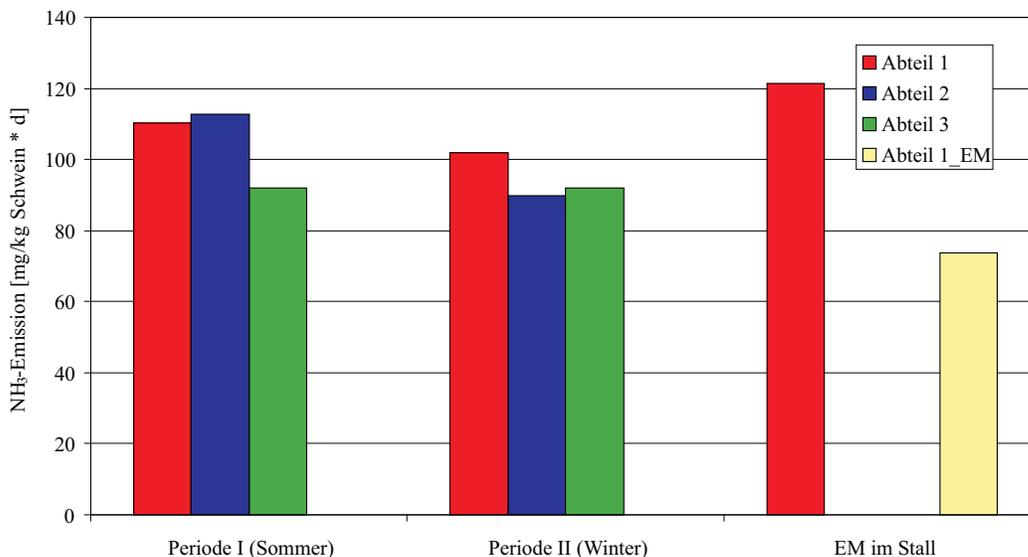


Abb. 17. NH₃-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall

Emissionen. Im Sommer betragen die NH₃-Emissionen rund 110 mg NH₃ je kg Schwein und Tag. Im Winter wurden Werte zwischen 90 und 100 mg NH₃ je kg Schwein und Tag gemessen. Das Versprühen von EM im Stall führte zu einer deutlichen Senkung der NH₃-Emissionen auf rund 75 mg NH₃ je kg Schwein und Tag (Abb. 17).

Auch die N₂O-Emissionen waren im Sommer höher als im Winter (Abb. 18). Im Abteil mit Schwemmentmischung wurden in der warmen Periode N₂O-Emissionen von etwas über 3 mg N₂O je kg Schwein und Tag gemessen. In der kühleren Messperiode erreichten die mittleren N₂O-Emissionen einen Wert von unter 1 mg N₂O je kg Schwein und Tag. Die beiden Abteile mit Schrappentmischung hatten sowohl im Sommer als auch im Winter geringere N₂O-Emissionen als das Abteil mit Schwemmentmischung. Im Sommer wurden N₂O-Emissionen aus Abteil 3 nur während der zweiten Masthälfte gemessen. Dies führte im Mittel zu geringeren Emissionen als in Abteil 2, bei dem sich die erste Messperiode auf einen gesamten Mastdurchgang erstreckte. Das Versprühen von EM im Stall in Abteil 1 reduzierte die N₂O-Emissionen von etwa 2 auf rund 0,5 mg N₂O je kg Schwein und Tag.

Wie auch bei den übrigen Gasen, so war bei den TOC-Emissionen das Emissionsniveau im Sommer höher als im Winter (Abb. 19). Im Winter konn-

3 EMISSIONEN AUS DEM SCHRÄGBODENSTALL

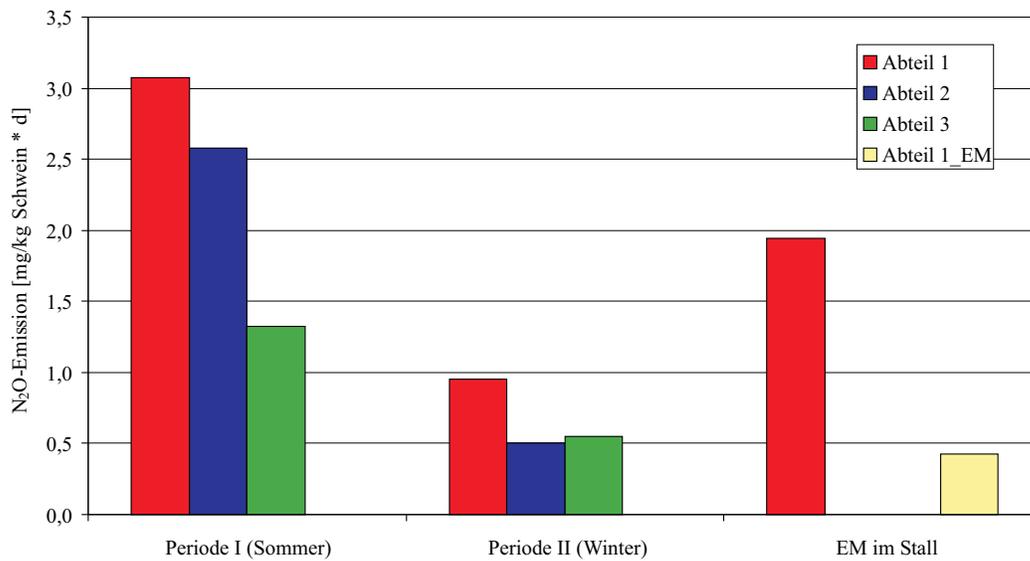


Abb. 18. N₂O-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall

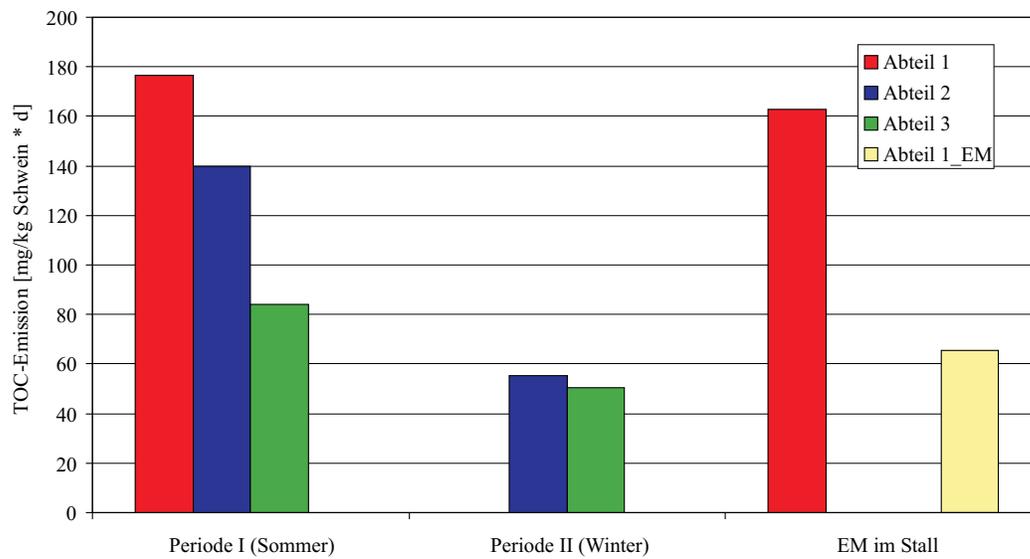


Abb. 19. TOC-Emissionen aus den drei Stallabteilen im Sommer und im Winter und Wirkung von EM-Einsatz im Stall

ten in Abteil 1 (Schwemmentmistung) keine TOC-Emissionen erfasst werden. Wurden TOC-Emissionen im Abteil mit Schrappertmistung nur in der zweiten Masthälfte gemessen, so lagen die mittleren Emissionen je kg Schwein und Tag deutlich unter dem Wert, der über eine gesamte Mastperiode gemittelt wurde. Dies zeigt der Vergleich der TOC-Emissionen im Sommer zwischen Abteil 2 und 3. Im Winter, als in beiden Abteilen Emissionen während einer gesamten Mastperiode gemessen wurden, war der Unterschied im Emissionsniveau zwischen beiden Abteilen sehr gering. Durch das Versprühen von EM in Abteil 1 sanken die TOC-Emissionen deutlich von etwa 160 auf etwa 60 mg TOC je kg Schwein und Tag.

3.2.7 Vergleich der Emissionen aus dem Schrägbodenstall mit Richtwerten aus der Literatur

In den Kapiteln 3.2.3, 3.2.4 und 3.2.5 sind die gemessenen Emissionen pro Tag und kg Schwein dargestellt. Aus den gemessenen Daten wurde eine mittlere Emission pro Tag und kg Schwein ermittelt. Diese mittlere Emission wurde auf eine Großvieheinheit (= 500 kg Lebendgewicht) umgerechnet. Ein Schwein entspricht durchschnittlich 0,12 GV. Im Mittel werden 2,5 Mastdurchgänge oder 330 Stalltage angesetzt (DÖHLER ET AL. 2002 [20], UBA 2001 [34]). Mit diesen Angaben wurde die Emission pro Schwein und Jahr berechnet, die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt ist.

Die Emissionen wurden differenziert nach dem Entmistungssystem ermittelt. Die Abbildungen zeigen Emissionen für Schwemmentmistung (Messwerte aus Abteil 1) und Schrappertmistung (Messwerte aus Abteil 2 und 3). Für die Einordnung der Ergebnisse zeigt jede Abbildung auch den derzeitigen Richtwert für Emissionen aus einem zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine mit Flüssigentmistung.

Aus Abbildung 20 sind die gemessenen CH₄-Emissionen je Tier und Jahr ersichtlich. Zwangsbelüftete Vollspaltenställe mit Flüssigmist werden derzeit mit einer Emission von 4 kg CH₄ je Tier und Jahr bewertet (UBA 2001 [34]). Die Emissionen aus dem Schrägbodenstall betragen 1,24 kg CH₄ je Schwein und Jahr bei Schwemmentmistung und 0,54 kg CH₄ je Schwein und Jahr bei Schrappertmistung. Sie lagen damit deutlich unter dem Richtwert für CH₄-Emissionen. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass innerhalb des Stalles deutlich weniger Flüssigmist gelagert wird als bei konventionellen Vollspaltenbodenställen. Zwangsbelüftete Ställe weisen Stalltemperaturen von rund 20 °C und mehr auf, was die Methanbildung im Flüssigmist fördert.

Wird der Schrägbodenstall über eine Schwemmentmistung entmistet, so wird eine größere Flüssigmistmenge gelagert als bei Schrappertmistung, wo zweimal täglich eine mechanische Entmistung erfolgt. Aus diesem Grund

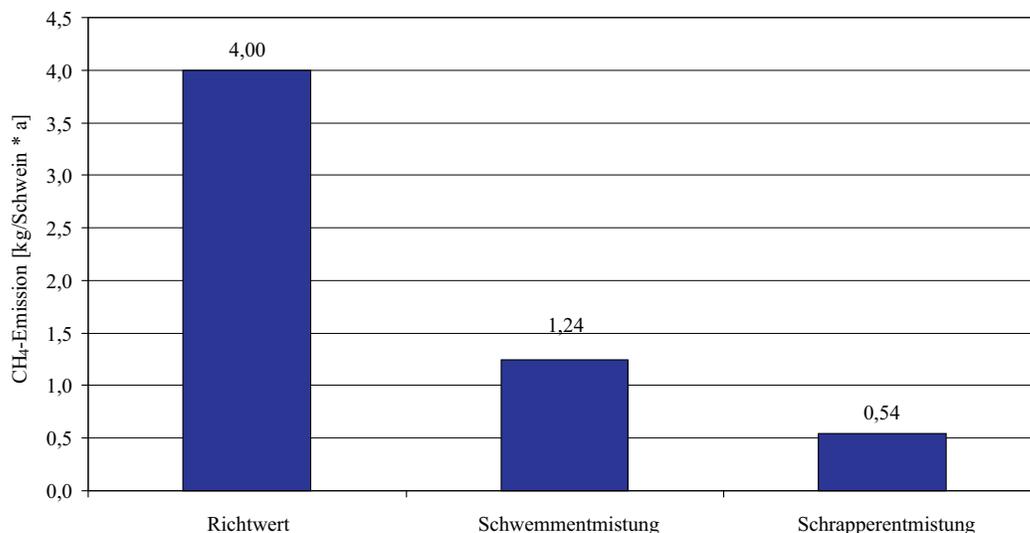


Abb. 20. CH₄-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrappertmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine

sind CH₄-Emissionen bei Schwemmentmistung höher als bei Schrappertmistung.

Für N₂O-Emissionen aus zwangsbelüfteten Vollspaltenställen für Mastschweine wird ein Richtwert von 100 g je Tier und Jahr angegeben (Abb. 21). Auf Grund der geringen Datenlage ist dieser Wert jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Die mögliche Spannweite von N₂O-Emissionen wird mit 20–310 g je Tier und Jahr angegeben (UBA 2001 [34]).

Aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine wurden bei Schwemmentmistung N₂O-Emissionen von 39,90 g je Tier und Jahr ermittelt. Bei Schrappertmistung lagen die N₂O-Emissionen noch niedriger: 24,54 g N₂O je Tier und Jahr. Dies kann — wie bei den CH₄-Emissionen — mit der größeren Menge an Flüssigmist zusammenhängen, die im Fall der Schwemmentmistung im Stall gelagert wird.

Die Ergebnisse zu NH₃-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine sind in Abbildung 22 dargestellt. DÖHLER ET AL. (2002 [20]) und UBA (2001 [34]) geben einen Emissionsrichtwert von 3 kg NH₃ je Tier und Jahr für zwangsbelüftete Vollspaltenställe an. Die Ammoniakemissionen aus dem Schrägbodenstall lagen deutlich unter diesem Wert. Im Fall der Schwemmentmistung wurden Emissionen von 2,10 kg NH₃ je Tier und Jahr gemessen. Bei der Schrappertmistung beliefen sich die NH₃-Emissionen

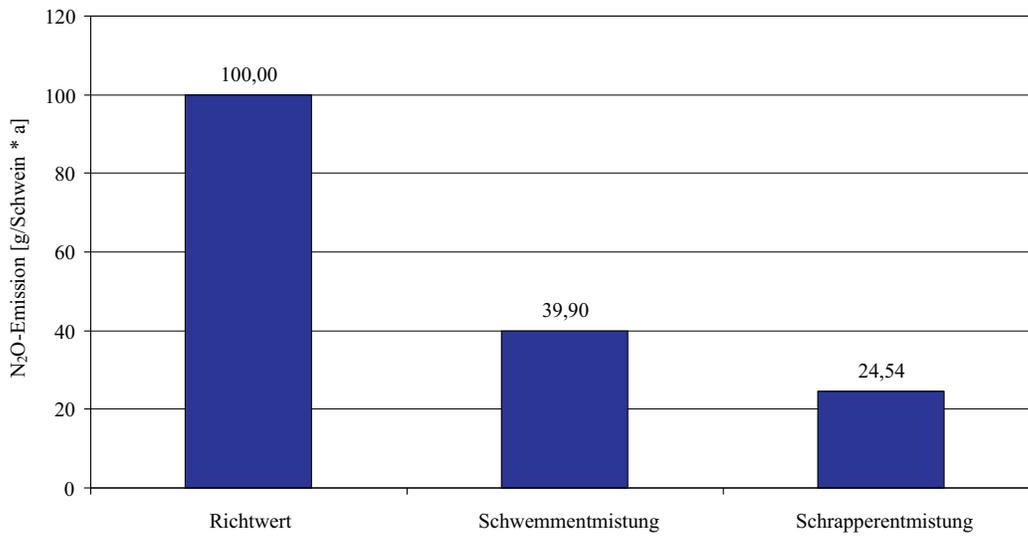


Abb. 21. N₂O-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmischung und Schrappentmischung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine

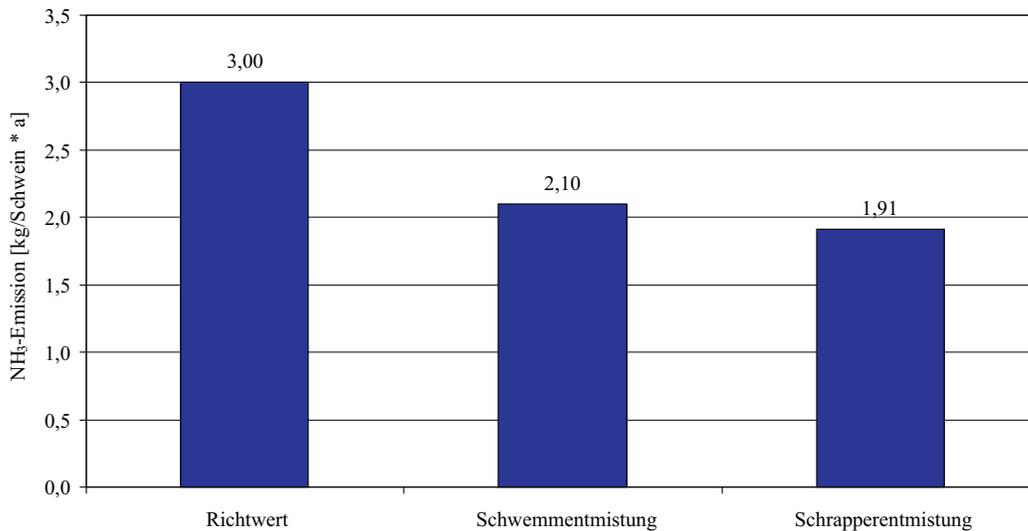


Abb. 22. NH₃-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmischung und Schrappentmischung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine

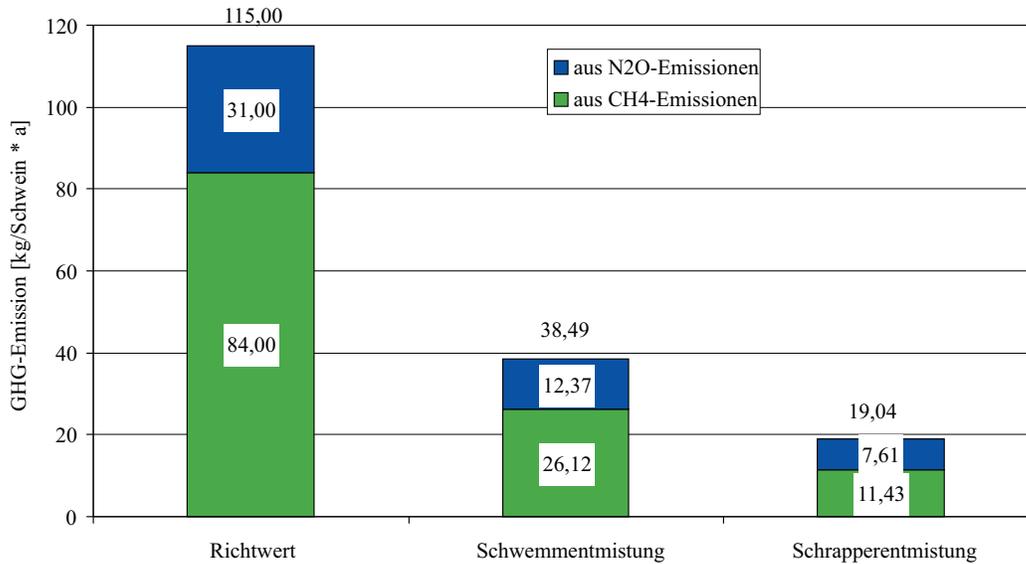


Abb. 23. Klimarelevante Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine bei Schwemmentmistung und Schrappertmistung und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine

auf 1,91 kg je Tier und Jahr. Der Unterschied zwischen Schwemmentmistung und Schrappertmistung war weniger deutlich ausgeprägt als bei den CH_4 - und N_2O -Emissionen.

Bei NH_3 -Emissionen spielt weniger die absolute Menge an Flüssigmist, die im Stall gelagert wird, eine Rolle als viel mehr die Größe der verschmutzten, emissionsaktiven Oberfläche. Trotz zweimal täglichen Entmistens bleiben unter dem angehobenen Spaltenboden am Ende der Bucht stets Reste von Exkrementen liegen, die eine Quelle für NH_3 -Emissionen sind. Im Vergleich zum Vollspaltenboden jedoch ist die emissionsaktive Oberfläche bei beiden Entmistungsvarianten deutlich verringert. Die Liegefläche des Schrägbodenstalles wird von den Schweinen sauber und trocken gehalten. Exkreme fallen nur im hinteren Teil der Bucht, auf dem angehobenen Spaltenboden an. Dies führt zu geringeren NH_3 -Emissionen.

Die Emissionen von CH_4 und N_2O wurden zur Summe an klimarelevanten Emissionen zusammengefasst. Diese wird in CO_2 -Äquivalenten ausgedrückt. CH_4 hat eine 21fach höhere und N_2O eine 310fach höhere Klimawirksamkeit als CO_2 (HOUGHTON ET AL. 1996 [26]). Es ergeben sich die in Abbildung 23 dargestellten Werte. Der Richtwert für klimarelevante Gase aus zwangsbelüfteten Flüssigmistställen für Mastschweine liegt mit 115 kg CO_2 Äq. je Schwein

Tabelle 8. Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine und Vergleich mit dem Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall für Mastschweine

Emissionen von	Richtwert	Schrägbodenstall	
		Schwemmentmistung	Schrappertmistung
CH ₄ [kg/kg Schwein · a]	4,00	1,24	0,54
N ₂ O [g/kg Schwein · a]	100,00	39,90	24,54
NH ₃ [kg/kg Schwein · a]	3,00	2,10	1,91
TOC [kg/kg Schwein · d]	—	3,49	1,63
GHG ^a [kg/kg Schwein · a]	115,00	38,49	19,04

^aGHG = klimarelevante Gase

und Jahr deutlich über den im Schrägbodenstall gemessenen Werten. Die Schrappertmistung führte mit 19,04 kg CO₂ Äq. je Schwein und Jahr verglichen mit der Schwemmentmistung (38,49 kg CO₂ Äq. je Schwein und Jahr) zu einer Reduktion klimarelevanter Emissionen.

Tabelle 8 zeigt zusammenfassend die Emissionen aus dem Schrägbodenstall für Mastschweine und als Vergleich den jeweiligen Richtwert für einen zwangsbelüfteten Vollspaltenstall. Für TOC-Emissionen gibt es derzeit keinen Richtwert, weshalb die Spalte hier leer bleibt.

Bei den beiden untersuchten Entmistungsverfahren Schwemmentmistung und Schrappertmistung wurden CH₄-, N₂O-, NH₃- und klimarelevante Emissionen gemessen, die deutlich unter den Richtwerten für zwangsentlüftete Vollspaltenställen für Mastschweine liegen.

Die Schrappertmistung konnte CH₄-, N₂O-, NH₃-, TOC- und klimarelevante Emissionen im Vergleich zur Schwemmentmistung nochmals senken. Der Schrägbodenstall für Mastschweine ist ein sehr tiergerechtes System, das in der landwirtschaftlichen Praxis wirtschaftlich betrieben werden kann.

4 Emissionen während der Lagerung

Die Gesamtumweltverträglichkeit von Haltungssystemen kann nur bewertet werden, wenn Emissionen aus dem Stall und während der anschließenden Lagerung der Wirtschaftsdünger berücksichtigt werden. Das Haltungssystem beeinflusst sowohl Emissionen aus dem Stall als auch Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung.

Ein Schrägbodenstall kommt mit sehr geringen Mengen an Stroh aus, so dass er als Flüssigmistsystem betrieben werden kann. Dies ist auf dem praktischen Betrieb in Oberösterreich der Fall, auf dem die Emissionsmessungen durchgeführt wurden. Es galt zu prüfen, wie hoch die Emissionen aus diesem mit geringen Mengen an Stroh angereicherten Flüssigmist sind.

Bei höherer Einstreumenge kann ein Schrägbodenstall auch als Festmistsystem betrieben werden. Im Bereich der Lagerung wurden beide Varianten in die Emissionsmessungen mit einbezogen.

4.1 Material und Methode

Das ILT hat im Rahmen des Projektes „Methane, Nitrous Oxide and Ammonia Emissions from Management of Liquid Manures (Research project no. 1107, BMLF GZ 24.002/24-IIA1a/98 and extension GZ 24.002/33-IIA1a/00)“ (AMON ETAL. 2002 [8]) an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf eine Versuchseinrichtung entwickelt, mit der Emissionen während der Lagerung von Fest- und Flüssigmist hochexakt bestimmt werden können.

4.1.1 Versuchseinrichtung des ILT in Groß-Enzersdorf

Versuchsstandort Groß-Enzersdorf. Die Emissionsmessungen wurden auf der Versuchsstation der Universität für Bodenkultur in Groß-Enzersdorf, nahe Wien durchgeführt. In Groß-Enzersdorf ist pannonisches Klima vorherrschend. Im Sommer ist es meist heiß und trocken. Die Winter sind kalt mit nur wenig Schneefall. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,8 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von durchschnittlich 75%. Im Mittel fallen 547 mm Regen pro m² und Jahr.

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) stellte Stundenmittelwerte für die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, Niederschläge und den Luftdruck während der Messungen in Groß-Enzersdorf zur Verfügung (ZAMG 2003 [39], 2004 [40]).

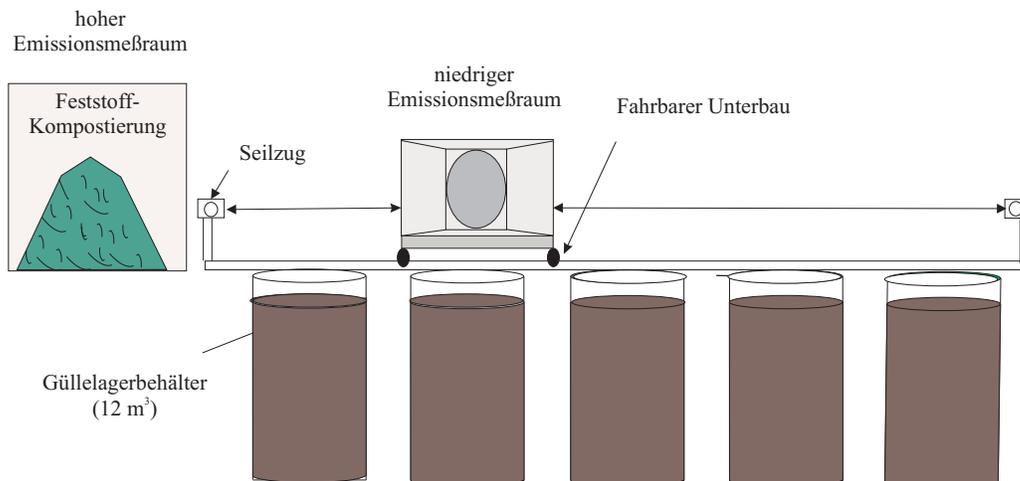


Abb. 24. Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Seitenansicht) (nach AMON ETAL. 2002 [8])

Flüssigmistlagerbehälter. Im März 1999 wurden fünf Flüssigmistlagerbehälter und eine Kompostierungsplatte auf der Versuchsstation in Groß-Enzersdorf errichtet. Die Flüssigmistlagerbehälter sind 2,5 m tief und haben einen Durchmesser von 2,5 m. Sie sind aus Beton und in die Erde versenkt. Parallel zu den Flüssigmistlagerbehältern verläuft eine Holzschiene, auf der der mobile Emissionsmessraum von einem Behälter zum nächsten verschoben werden kann.

Neben den Flüssigmistlagerbehältern befindet sich eine 4 · 10 m große Kompostierungsplatte, auf der Festmist kompostiert werden kann. Abbildungen 24 und 25 zeigen schematisch den Aufbau der Versuchseinrichtung.

Jeder Lagerbehälter ist mit rund 10 m³ Flüssigmist gefüllt. NH₃-, N₂O-, CH₄- und TOC-Emissionen werden quantifiziert, in dem der mobile Emissionsmessraum auf einen Lagerbehälter gestellt wird und die frei werdenden Emissionen sammelt. Da die Emissionen eine ausgeprägte zeitliche Variabilität aufweisen, ist es notwendig, jede Variante möglichst oft zu messen und die Zeitabstände zwischen den Messintervallen gering zu halten. Jede Variante wird mindestens zweimal pro Woche gemessen. Während jeder Messung werden die Emissionen für jeweils 8–12 Stunden kontinuierlich erfasst. Die Versuchseinrichtung ermöglicht es, den mobilen Emissionsmessraum innerhalb weniger Minuten von einem Lagerbehälter auf den nächsten zu verschieben.

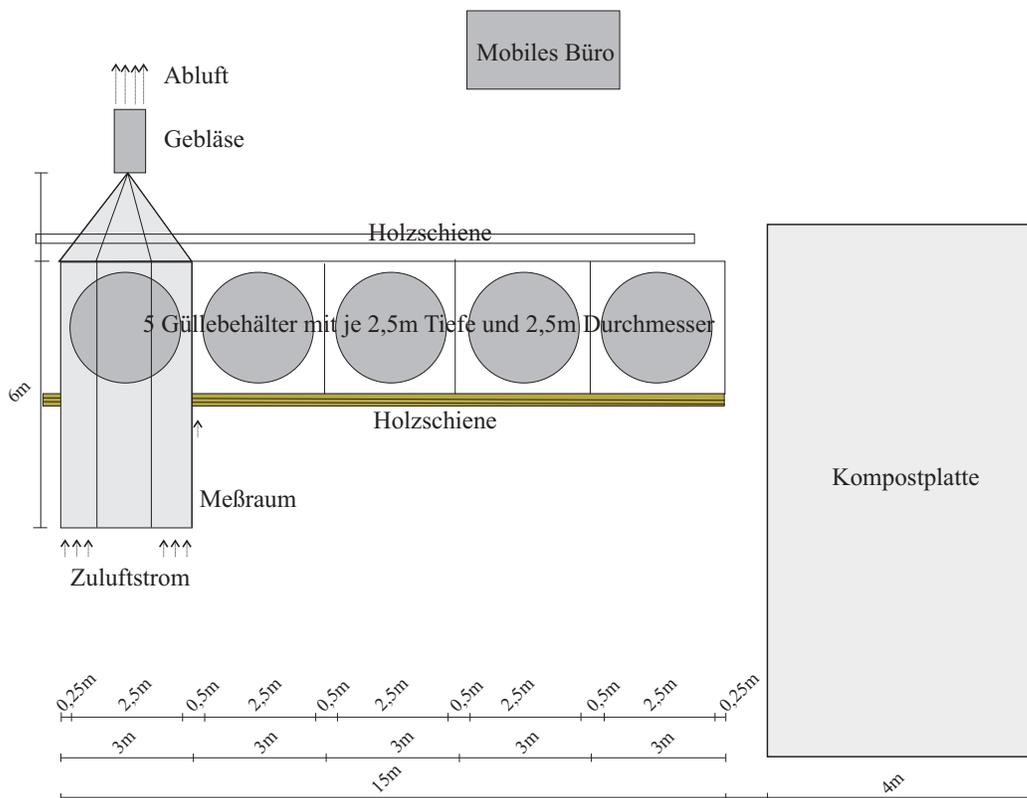


Abb. 25. Versuchseinrichtung zum Quantifizieren von Emissionen während der Wirtschaftsdüngerlagerung (Draufsicht) (nach AMON ETAL. 2002 [8])

Mobiler Emissionsmessraum. Um Emissionsraten quantifizieren zu können, müssen sowohl die Gaskonzentration als auch der Luftvolumenstrom bekannt sein. Die Emissionsrate errechnet sich wie folgt (Gleichung 1):

$$\dot{m}_X = (\bar{c}_{X,\text{Abluft}} - \bar{c}_{X,\text{Zuluft}}) \cdot \dot{V} \quad (1)$$

$$\dot{m}_X = \text{Emissionsrate von Gas } X \text{ [g h}^{-1}\text{]}$$

$$\bar{c}_{X,\text{Abluft}} = \text{Mittlere Gaskonzentration von Gas } X \text{ in der Abluft [g m}^{-3}\text{]}$$

$$\bar{c}_{X,\text{inlet}} = \text{Mittlere Gaskonzentration von Gas } X \text{ in der Zuluft [g m}^{-3}\text{]}$$

$$\dot{V} = \text{Volumenstrom [m}^3 \text{ h}^{-1}\text{]}$$

Um den Luftvolumenstrom über freibelüfteten Flächen wie beispielsweise Flüssigmistlagerbehältern bestimmen zu können, entwickelte das ILT einen großen mobilen Emissionsmessraum (Abb. 26). Er bedeckt eine Fläche von 27 m^2 und kann als 2 m hohe und als 0,5 m hohe Variante errichtet werden.

Zuluftseitig gelangt Frischluft in den Messraum hinein. Im Messraum reichert sich die Luft mit Gasen an und verlässt den Messraum abluftseitig

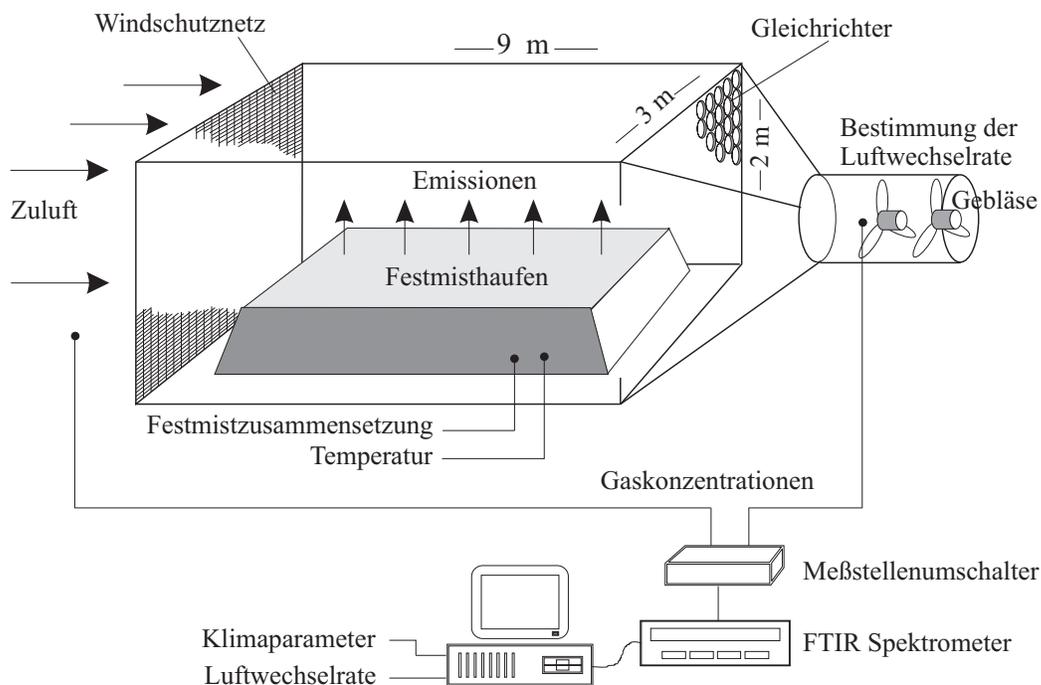


Abb. 26. Großer mobiler Emissionsmessraum, der vom ILT entwickelt wurde (nach AMON ET AL. 1996 [2])

wieder. Gaskonzentrationen werden abwechselnd in der Zuluft und in der Abluft gemessen. Die Differenz zwischen der Konzentration in Zu- und Abluft ist auf die Emissionen aus dem zu untersuchenden Material zurückzuführen. Der Luftvolumenstrom wird abluftseitig kontinuierlich mit einem Schleppflügelanemometer gemessen (AMON 1999 [1]).

Der mobile Emissionsmessraum verändert die natürlichen Umgebungsbedingungen nicht, wenn er auf die emittierenden Substrate gestellt wird. Durch den kontinuierlichen Luftdurchfluss kommt es zu keiner Erwärmung im Inneren des Messraumes. Die Luftrate kann zwischen 1.000 und 11.000 m³/h variiert werden. Der Messraum ist aus lichtdurchlässigen Polycarbonatplatten gemacht. Ammoniakemissionen adsorbieren nicht an den Polycarbonatplatten. Für Emissionsmessungen während der Flüssigmistlagerung wird der mobile Emissionsmessraum verwendet, der eine Höhe von 0,5 m hat. Die Luftgeschwindigkeit in diesem Messraum kann zwischen 0,18 und 2,04 m/s variiert werden.

Messparameter. Im Rahmen der Versuche wurden NH_3 -, N_2O -, CH_4 - und TOC-Emissionen gemessen. Die Analyse der Gaskonzentrationen erfolgte mit einem hochauflösenden FTIR Spektrometer. TOC-Konzentrationen wurden mit einem Flammenionisationsdetektor gemessen. Details zu diesen Messgeräten sind in Kapitel 3.1.2 dargestellt.

Die Flüssigmisttemperatur wurde in jedem Behälter auf zwei Höhen kontinuierlich gemessen. Proben für die Flüssigmistanalyse wurden alle zwei Wochen genommen. Um eine repräsentative Probe zu erhalten, wurde bei jeder Probenahme aus fünf verschiedenen Höhen Flüssigmist entnommen. Daraus wurde eine Probe gemischt, und bis zur Analyse tiefgefroren gelagert. Folgende Inhaltsstoffe wurden analysiert:

- Trockensubstanzgehalt
- Gehalt an organischer Trockensubstanz
- Aschegehalt
- pH-Wert
- NH_4^+ -N-Gehalt
- Gesamtstickstoffgehalt
- Gesamtkohlenstoffgehalt

4.1.2 Ablauf der Versuche

Im Forschungsvertrag wurde das Messen von Emissionen aus Schweineflüssigmist vereinbart. Über dieses vertraglich vereinbarte Versuchsprogramm hinaus bearbeitete das ILT in Eigenleistung noch die Frage, welchen Einfluß eine feste Behälterabdeckung auf Emissionen während Flüssigmistlagerung hat. Mit finanzieller Unterstützung der Firmen Multikraft Produktions- und HandelsGmbH und IPUS GmbH wurde der Einfluß der Zusatzstoffe „Effektive Mikroorganismen (EM)“ und „IPUS agrolift“ zusammen mit „Microbe-lift HOG“ ermittelt¹. Die Firma Multikraft finanzierte darüber hinaus Emissionsmessungen mit Schweinefestmist. Dies hat den großen Vorteil, dass — für das BMLFUW kostenneutral — bereits in diesem Projekt die Emissionen von Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine ermittelt wurden. Um zu einer Gesamtbilanz „Stall und Lagerung“ zu kommen, müssen nun nur noch Versuche aus dem Stall durchgeführt werden.

Schweineflüssigmist — Sommer. Die Emissionsmessungen aus Schweineflüssigmist umfassten folgende Varianten:

¹IPUS GmbH hat der Veröffentlichung der Ergebnisse bis zur Fertigstellung des Endberichtes noch nicht zugestimmt. Mit der Zustimmung wird bis Jahresende gerechnet

- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall mit fester Abdeckung des Lagerbehälters
- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall ohne Abdeckung des Lagerbehälters
- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall ohne Abdeckung, mit EM-Zusatz
- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall ohne Abdeckung, mit IPUS-Zusatz

Unbehandelter Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall wurde mit und ohne eine feste Behälterabdeckung untersucht. Im Rahmen des EU-Projektes „MIDAIR“ (Greenhouse Gas Mitigation for Organic and Conventional Dairy Production) konnte nachgewiesen werden, dass eine feste Behälterabdeckung klimarelevante Emissionen und Ammoniakemissionen während der Lagerung von Milchviehflüssigmist reduziert (AMON ET AL. 2004 [4], [5], 2005 [6], [7]). Nun sollte überprüft werden, ob diese Wirkung auch bei der Lagerung von Schweineflüssigmist auftritt.

Der Schweineflüssigmist wurde aus einem Schrägbodenstall in Winklern bei Amstetten, Oberösterreich bezogen. Der Bezug vom Schrägbodenstall in Weng im Innkreis, an dem die Emissionsmessungen durchgeführt worden waren, war nicht möglich, da in diesem Stall — wie in Kapitel 3.1.3 dargestellt — EM und EM-FKE eingesetzt worden waren. EM gelangte dabei auch in den Flüssigmist und dieser konnte deshalb nicht mehr für Emissionsmessungen aus unbehandeltem Flüssigmist verwendet werden.

Der Flüssigmist für die Lagerungsversuche wurde aus einem Schrägbodenstall bezogen, dessen Aufbau und Management ähnlich dem Schrägbodenstall in Weng waren. Die Stallfläche bestand aus 270 m² planbefestigter Schrägbodenfläche und 54 m² Vollspalten, die sich jeweils im hinteren Teil der Bucht befanden. Der Stall beherbergte 250 Mastschweine (ÖHYB-Ferkel). Der Landwirt schätzt die tägliche Strohgabe auf rund 300 g Langstroh je Schwein. Das Stroh wird in der Strohraufe am vorderen Rand der Bucht bereit gestellt. Das Futter bestand aus 55 % Mais, 20 % Weizen und 25 % LI-KRA Maiscombi 25 (Soja und Mineralstoffmischung). Eine Phasenfütterung wurde nicht durchgeführt. Die täglichen Zunahmen betragen 750 bis 800 g. Einmal täglich wurde der Flüssigmist mittels Umspülverfahren entmistet.

Bei der Variante „unbehandelter Schweineflüssigmist ohne Abdeckung“ wurden 7,70 m³ Flüssigmist eingelagert. Im Behälter mit Abdeckung wurden 7,95 m³ Flüssigmist gelagert. Die Menge an Flüssigmist mit EM-Zusatz betrug 7,65 m³. Hier wurden am 02.06.2004 16 l EM zugesetzt.

Tabelle 9 zeigt die Zusammensetzung der Flüssigmistes am Beginn und am Ende der Versuche. Die Emissionsmessungen begannen am 01.06.2004.

Tabelle 9. Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende

Variante		N _t [g/kg·FM]	NH ₄ ⁺ -N [g/kg·FM]	TS [% FM]	oTS [% FM]	pH
mit Abdeckung	Beginn	2,32	1,35	3,99	3,15	6,51
	Ende	1,59	1,41	0,63	0,36	7,46
ohne Abdeckung	Beginn	2,47	1,23	4,83	3,61	6,51
	Ende	1,70	1,27	2,46	1,79	7,22
mit EM-Zusatz	Beginn	2,34	1,40	4,08	3,01	6,51
	Ende	2,27	1,79	2,67	1,97	7,24

Ursprünglich war geplant, Emissionen während der Flüssigmistlagerung drei Monate lang zu verfolgen. Im Laufe der Versuche zeigte sich, dass auch nach drei Monaten noch beträchtliche Emissionen messbar waren. Deshalb wurde die Lagerungsperiode bis Mitte Dezember 2004 ausgedehnt. Die zusätzlichen Messungen wurden aus Eigenleistungen des ILT getragen.

Schweinefestmist. Ein Schrägbodenstall für Mastschweine wird bei geringer Einstreumenge als Flüssigmistsystem betrieben. Bei höherer Einstreumenge entsteht in diesem System Festmist. Für eine Bewertung der Umweltverträglichkeit des Schrägbodenstalls ist es wichtig, die Emissionen sowohl aus dem Flüssigmistsystem als auch aus dem Festmistsystem zu kennen. Das vorliegende Projekt konzentriert sich zunächst auf Emissionen aus dem Flüssigmistsystem. Im Bereich der Lagerung jedoch konnte das Projekt bereits um Emissionen aus dem Festmist ergänzt werden. Zwei Varianten wurden untersucht:

- anaerobe Festmistlagerung ohne EM-Zusatz
- anaerobe Festmistlagerung mit EM-Zusatz

Die hierfür notwendigen Versuche werden von der Multikraft GmbH finanziell unterstützt. Die Ergebnisse stehen dem BMLFUW kostenneutral zur Verfügung.

Der Schweinefestmist wurde von einem Schrägbodenstall in Oberösterreich bezogen. Der Stall beherbergt 540 Mastschweine (ÖHYB-Ferkel). Jedem Tier steht — laut Angaben des Landwirtes — eine Fläche von 0,84 m² zur Verfügung. Täglich werden pro Schwein rund 300 g Langstroh in der Strohraufe angeboten. Das Futter besteht aus 20 % Weizen, 10 % Erbsen, 24 % Gerste, 13 % Soja, 30 % Mais und 3 % Mineralstoffmischung. Die Zusammensetzung ändert sich im Laufe der Mast nicht. Die durchschnittliche

Tabelle 10. Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende

Variante		N _t [g/kg-FM]	NH ₄ ⁺ -N [g/kg-FM]	TS [% FM]	oTS [% FM]	pH
Festmist ohne EM-Zusatz	Beginn	8,96	4,94	23,08	19,09	8,60
	Ende	14,64	4,43	29,15	18,95	7,87
Festmist mit EM-Zusatz	Beginn	11,05	6,11	26,88	21,89	9,31
	Ende	18,81	5,38	31,43	18,80	8,14

tägliche Zunahme beläuft sich auf 790 g bei einer Futtermittelverwertung von 1:2,7. Zweimal pro Woche wird der Festmist mittels Hoftrac aus dem Stall entfernt.

Die Versuchseinrichtung des ILT besteht aus fünf Flüssigmistlagerbehältern und einer Kompostplatte (siehe Abb. 24 und 25). Auf der Kompostplatte wurden am 02.06.2004 rund 8 Tonnen Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine in einer Dreiecksmiete aufgesetzt. Der Festmist wurde gleichmäßig mit 26 Litern EM besprüht und ohne weitere Manipulation gelagert. Die Lagerungsperiode dauerte von 02.06. bis 16.08.2004.

Am 16.08.2004 wurden wieder rund 8 Tonnen Festmist aus dem gleichen Schrägbodenstall angeliefert und diesmal ohne Zugabe von EM gelagert. Die Emissionen aus dem Festmist wurden mit dem großen mobilen Emissionsmessraum des ILT gemessen. Tabelle 10 zeigt die Zusammensetzung von Festmist mit und ohne EM-Zusatz am Beginn und am Ende der Lagerung.

Schweineflüssigmist — Winter. Emissionen aus Flüssigmist sind stark von der Temperatur beeinflusst und im Winter meist geringer als im Sommer (AMON ET AL. 2002 [8], 2005 [7]). Aus diesem Grund wurden die Emissionsmessungen aus Schweineflüssigmist nochmals unter Winterbedingungen wiederholt. Diesmal umfasste der Versuch folgende Varianten:

- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall mit fester Abdeckung des Lagerbehälters
- Schweineflüssigmist aus einem Schrägbodenstall ohne Abdeckung des Lagerbehälters

Am 12.04.2005 wurde Flüssigmist von dem Betrieb in Winklern bei Amstetten, Oberösterreich angeliefert. Der Behälter mit fester Abdeckung wurde mit 8,39 m³ Flüssigmist befüllt, der ohne Abdeckung mit 8,68 m³ Flüssigmist. Die Messperiode dauerte bis zum 08.06.2005. Tabelle 11 zeigt die Zusammensetzung der Flüssigmistes am Beginn und am Ende der Versuche.

Tabelle 11. Zusammensetzung von Schweineflüssigmist zu Versuchsbeginn und -ende

Variante		N _t [g/kg·FM]	NH ₄ ⁺ -N [g/kg·FM]	TS [% FM]	oTS [% FM]	pH
mit Abdeckung	Beginn	2,97	1,68	3,70	2,73	7,12
	Ende	2,37	1,69	2,62	2,00	6,55
ohne Abdeckung	Beginn	2,88	1,82	3,35	2,44	7,08
	Ende	2,34	1,78	2,75	2,06	6,50

Tabelle 12. Zeitplan der Emissionsmessungen während der Lagerung von Flüssigmist und Festmist aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine

Datum	Tätigkeit
07.05.2004	Einlagerung von Schweineflüssigmist — warme Witterung
07.07.2004 bis	Emissionsmessungen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne Abdeckung
20.12.2004	Mit IPUS- und EM-Zusatz
02.06.2004 bis	Emissionsmessungen während der anaeroben Lagerung von Schweinefestmist
16.08.2004	mit EM-Zusatz
16.08.2004 bis	Emissionsmessungen während der anaeroben Lagerung von Schweinefestmist
09.12.2004	ohne EM-Zusatz
12.04.2005	Einlagerung von Schweineflüssigmist — kühle Witterung
12.04.2005 bis	Emissionsmessungen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne Abdeckung
08.06.2005	

Tabelle 12 gibt einen Überblick über den Ablauf aller Versuche zu Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist und -festmist. In Summe wurden während der Lagerung von Schweineflüssigmist und -festmist rund 6.500 Stunden lang Emissionen gemessen und dabei etwa je 39.000 Messwerte für CO₂-, CH₄, N₂O-, NH₃- und TOC-Emissionen erfasst.

4.2 Ergebnisse aus dem Bereich „Lagerung“

Die Ergebnisdarstellung im Bereich „Lagerung“ gliedert sich in Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter warmen Bedingungen, Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist und Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter kühlen Bedingungen.

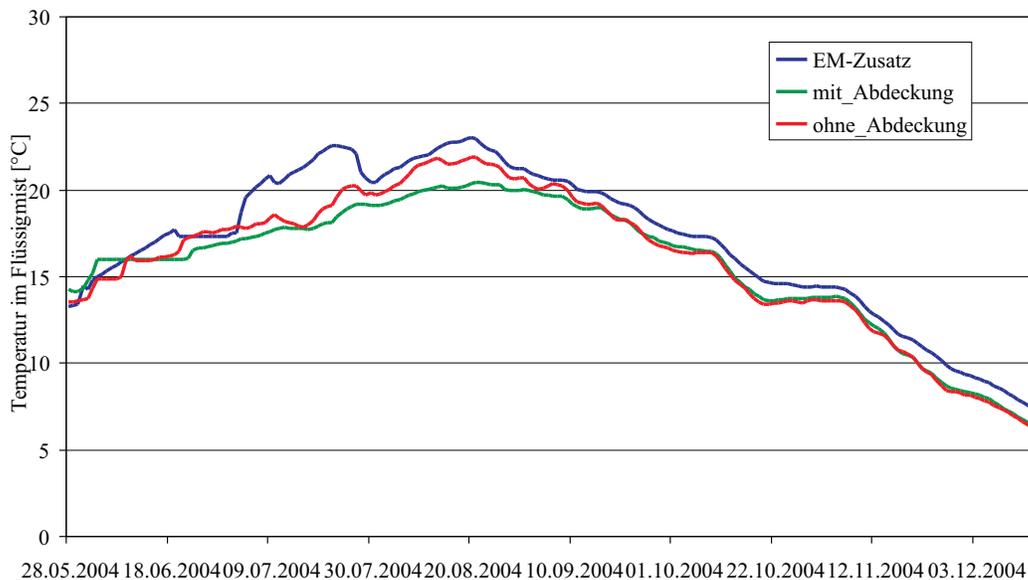


Abb. 27. Temperatur im Flüssigmist während der Lagerung von Mai bis Dezember 2004

4.2.1 Schweineflüssigmist — warme Witterung

Dieses Kapitel stellt zunächst den Verlauf der Flüssigmisttemperatur dar. Anschließend folgt der Verlauf der Emissionen während der Messperiode von Mai bis Dezember 2004. Aus den gemessenen Emissionen wurden die kumulierten Emissionen und die Gesamtemissionen berechnet, die den Abschluss des Kapitels bilden.

Flüssigmisttemperatur. Abbildung 27 zeigt den Verlauf der Flüssigmisttemperatur in den untersuchten Varianten. Die Flüssigmisttemperatur verlief in allen Varianten nahezu identisch. Bei der Einlagerung im Mai 2004 betrug die Temperatur im Flüssigmist rund 15 °C. Sie stieg in den warmen Sommermonaten bis auf Werte um 23 °C. Ab Anfang September 2004 wurde ein kontinuierlicher Abfall der Flüssigmisttemperatur beobachtet. Im Dezember wurden noch rund 7 °C im Flüssigmist gemessen.

Emissionen im Verlauf der Lagerung. Abbildungen 28 bis 32 zeigen die täglichen CO₂-, CH₄-, NH₃-, N₂O- und TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter warmen Witterungsverhältnissen. Untersucht wurde Flüssigmist mit fester Abdeckung, Flüssigmist ohne Ab-

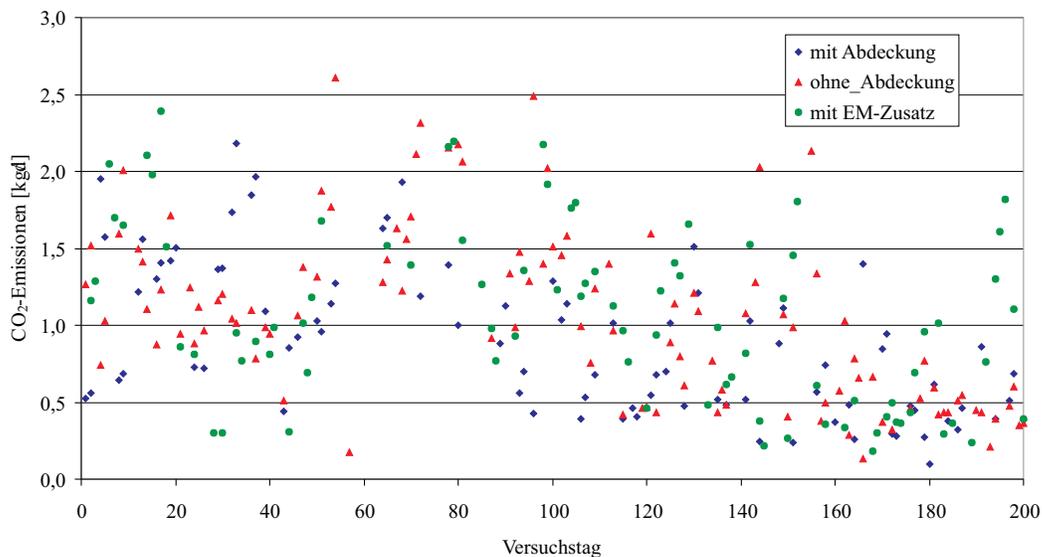


Abb. 28. Tägliche CO_2 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

deckung und Flüssigmist mit EM-Zusatz (ohne Abdeckung).

In den Abbildungen ist die Summe an Emissionen dargestellt, die aus jedem Lagerbehälter ermittelt wurde. Die Emissionen sind noch nicht auf einen m^3 Flüssigmist umgerechnet. Da jedoch alle drei Behälter mit einer ähnlichen Menge an Flüssigmist gefüllt waren, erlauben die nachfolgenden Abbildungen einen Vergleich des Emissionsverlaufs zwischen den untersuchten Varianten.

Die CO_2 -Freisetzung zeigte im Laufe der Versuche keinen eindeutigen Trend (Abb. 28). In der ersten Hälfte der Lagerungsperiode wurden tendenziell höhere CO_2 -Emissionen gemessen als in der zweiten Hälfte. In der ersten Hälfte herrschten höhere Umgebungs- und Flüssigmisttemperaturen, was eine Ursache für das leicht erhöhte Emissionsniveau sein kann.

Die CH_4 -Freisetzung war zu Beginn der Lagerung auf sehr niedrigem Niveau und stieg ab etwa dem 60. Lagerungstag deutlich an (Abb. 29). Als Ursache kann der Anstieg der Außen- und Flüssigmisttemperatur gesehen werden. In der Mitte der Messperiode blieben die CH_4 -Emissionen auf hohem Niveau. Im letzten Drittel fielen sie langsam ab. Auch am Ende der Versuche waren bei allen Varianten noch geringe CH_4 -Emissionen messbar.

Die NH_3 -Emissionen streuten bis etwa zum 100. Versuchstag stark. Insbesondere bei der Variante ohne Abdeckung wurden immer wieder Emissionspeaks gemessen (Abb. 30). Gegen Ende der Versuche pendelten sich die NH_3 -Emissionen auf geringem Niveau ein.

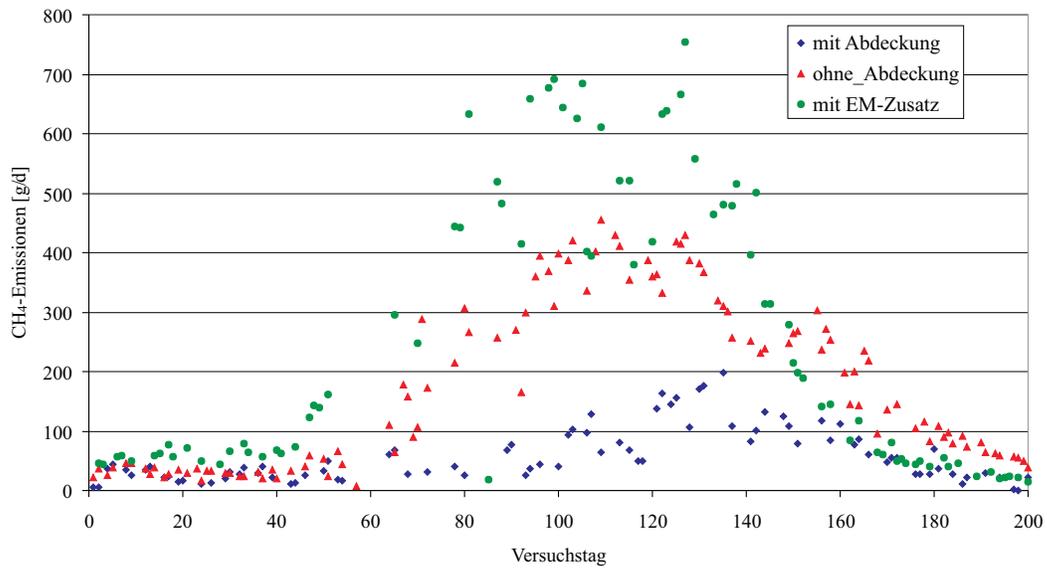


Abb. 29. Tägliche CH₄-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

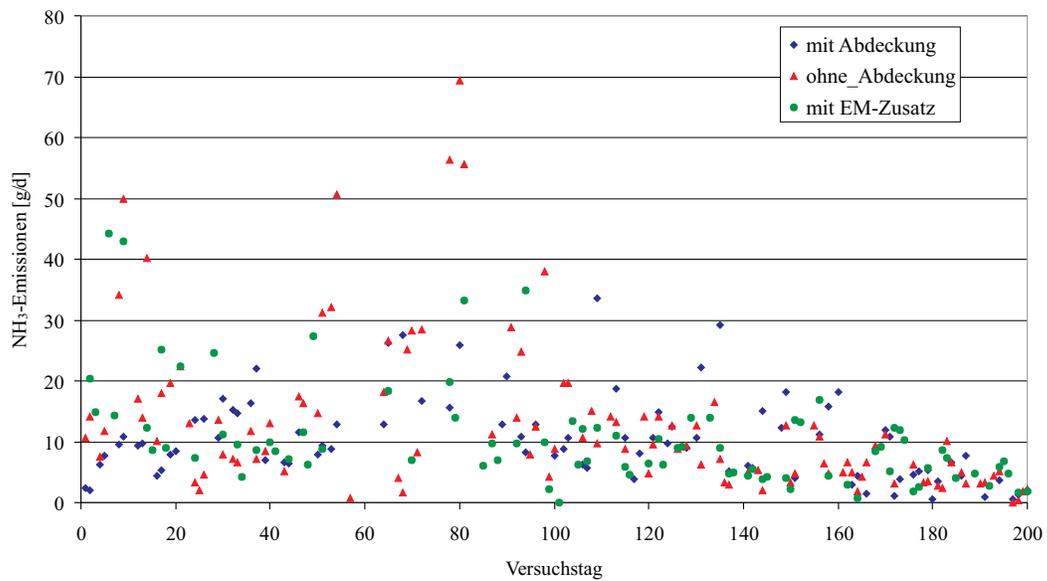


Abb. 30. Tägliche NH₃-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

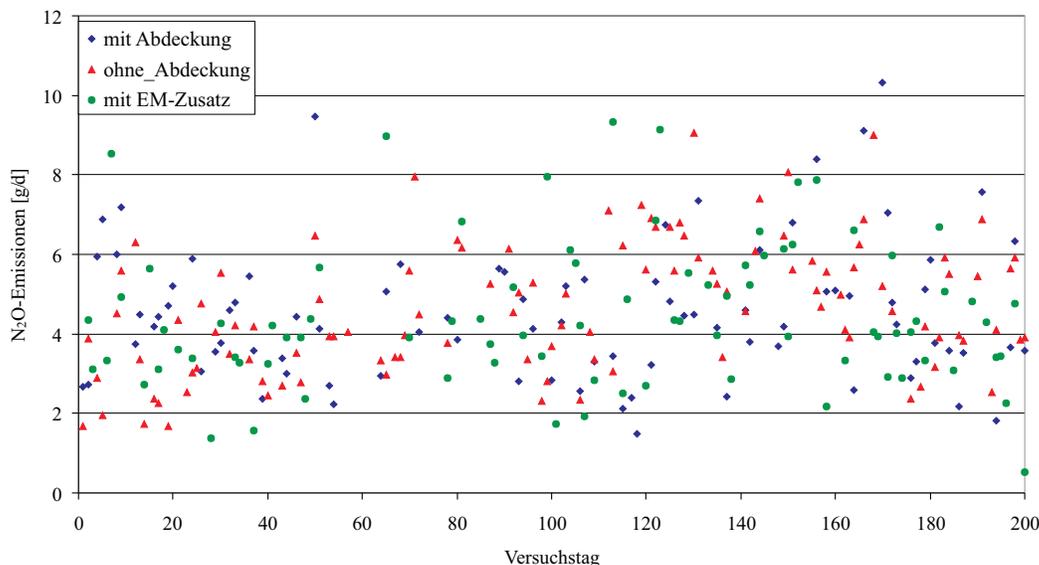


Abb. 31. Tägliche N_2O -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

Die N_2O -Freisetzung streute während des gesamten Lagerungszeitraumes in einem Bereich von etwa 2 bis 10 g N_2O pro Tag (Abb. 31). Ein Auf- oder Abwärtstrend war im Versuchszeitraum nicht zu beobachten. Die N_2O -Emissionsrate hatte auch am Ende der Lagerung nicht abgenommen.

Bei den TOC-Emissionen wurde ein ähnlicher Verlauf beobachtet wie bei den CH_4 -Emissionen. Auch TOC-Emissionen sind stark von der Temperatur beeinflusst und steigen mit Zunahme der Temperatur an. Zu Beginn blieben die TOC-Emissionen bei allen Varianten auf niedrigem Niveau (Abb. 32). In der Mitte der Versuche wurde ein Emissionsmaximum beobachtet, das bei der Variante mit EM-Zusatz besonders stark ausgeprägt war. Am Ende hatten sich die TOC-Emissionen bei allen drei Varianten auf Werte um 150–180 g TOC pro Tag eingependelt.

Kumulierte Emissionen. Stündlich wurden rund 6 Emissionsmesswerte erfasst. Aus diesen errechnete sich die oben dargestellte tägliche Emission im Versuchsverlauf. Diese täglichen Emissionen wurden zu den kumulierten Emissionen addiert und auf die Menge an Flüssigmist bezogen, die in den einzelnen Behältern gelagert wurde. Der Endwert entspricht der Summe an Emissionen, die im Versuchszeitraum pro m^3 Flüssigmist freigesetzt wurde.

Abbildungen 33 bis 37 zeigen den Verlauf der kumulierten Emissionen

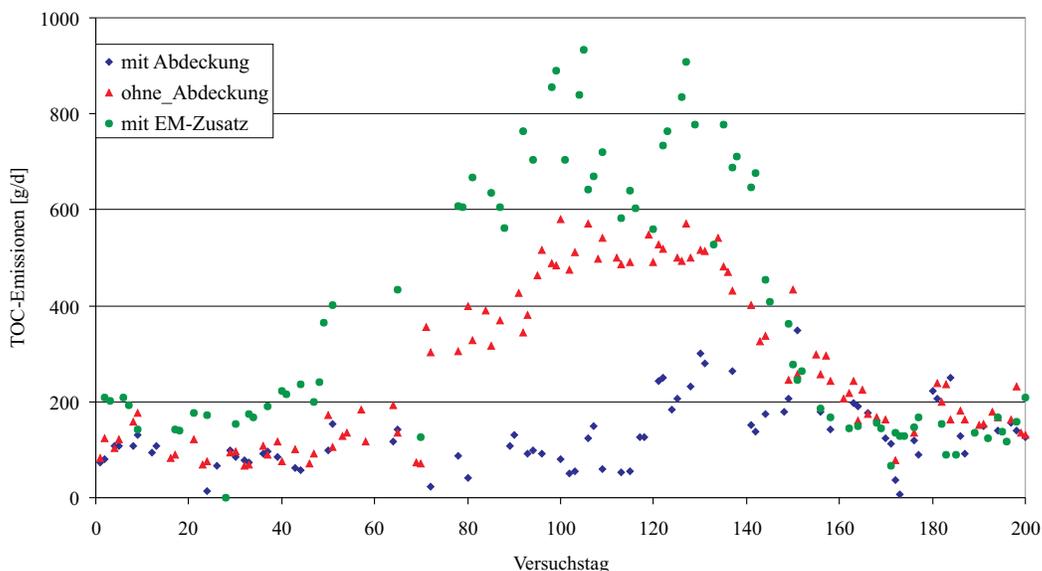


Abb. 32. Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

von CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O und TOC während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne Abdeckung und mit EM-Zusatz (ohne Abdeckung).

Die kumulierten CO_2 -Emissionen stiegen bei den Varianten „ohne Abdeckung“ und „mit EM-Zusatz“ bis etwa zum 160. Versuchstag nahezu linear an. Danach sank die CO_2 -Produktion deutlich ab und die kumulierten Emissionen erhöhten sich kaum mehr. Die Unterschiede in der CO_2 -Emission zwischen Flüssigmist ohne Abdeckung und mit EM-Zusatz waren gering. Bei Flüssigmist mit fester Behälterabdeckung blieb der Anstieg der kumulierten Emissionen ab etwa dem 80. Lagerungstag deutlich unter dem der beiden anderen Varianten. In Summe wurden hier geringere CO_2 -Emissionen gemessen (Abb. 33).

Die kumulierten CH_4 -Emissionen waren zu Beginn der Lagerung gering. Bis zum 60. Versuchstag beliefen sie sich auf $0,19 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist (mit Abdeckung), $0,35 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist (ohne Abdeckung) und $0,71 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist (mit EM-Zusatz). Mit Zunahme der Außen- und Flüssigmisttemperatur stiegen die CH_4 -Emissionen an. Der Anstieg war besonders bei den Varianten ohne Abdeckung und mit EM-Zusatz deutlich ausgeprägt. Auch bei der Variante mit Abdeckung wurde ein Anstieg in den Emissionen beobachtet, der aber deutlich geringer war als bei den beiden anderen Varianten. Erst nach dem 160. Versuchstag, als die Temperaturen

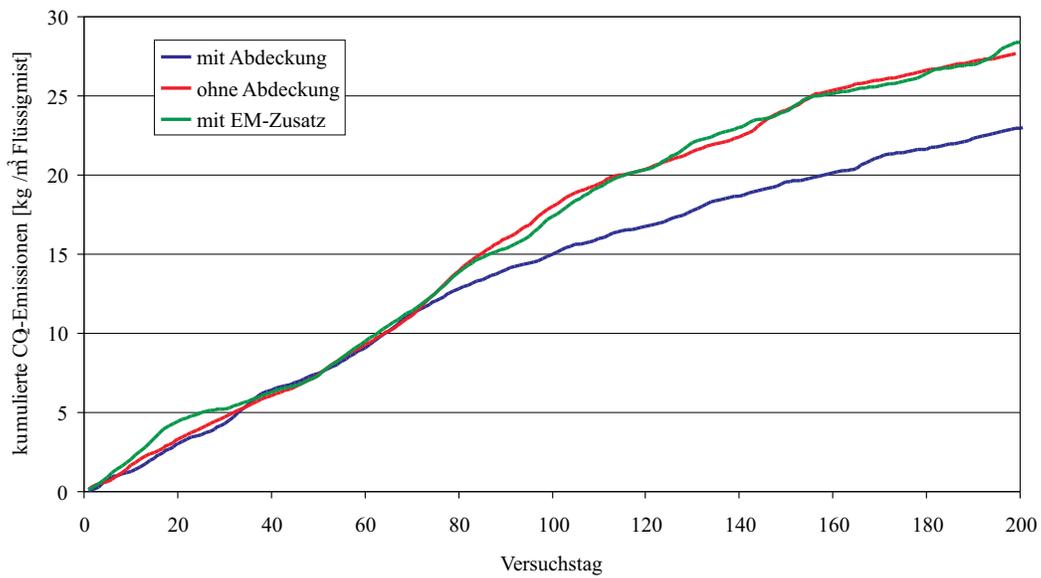


Abb. 33. Kumulierte CO₂-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

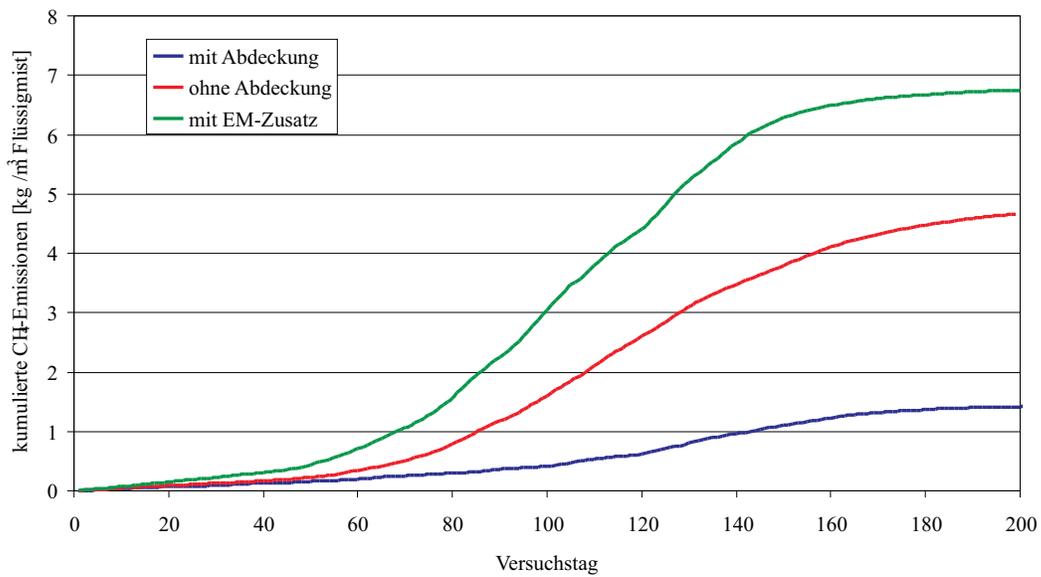


Abb. 34. Kumulierte CH₄-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

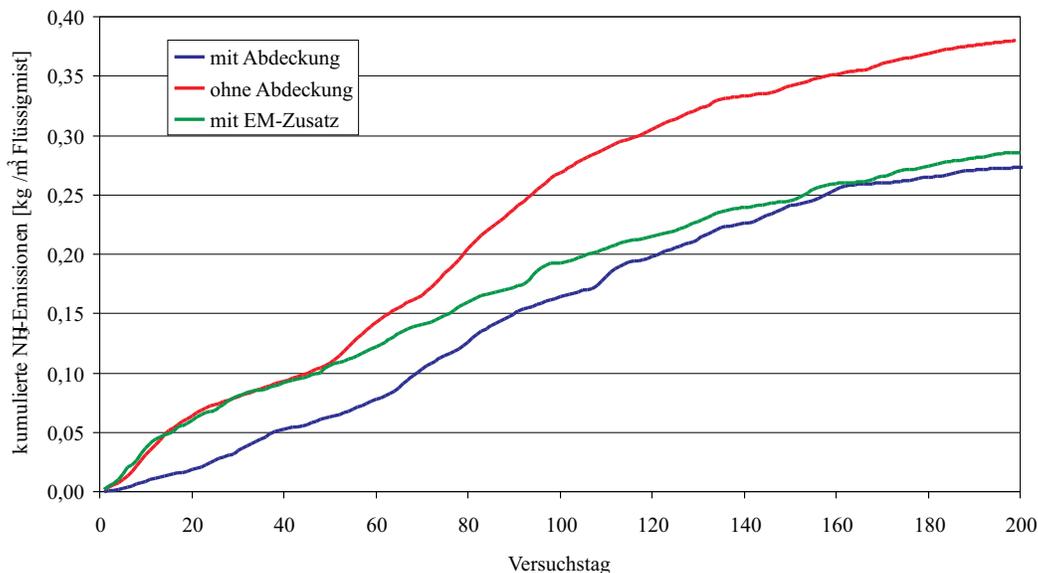


Abb. 35. Kumulierte NH_3 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

wieder abnehmen, war ein Abflachen der kumulierten CH_4 -Emissionen zu beobachten.

Mit fester Behälterabdeckung wurden in Summe CH_4 -Emissionen von $1,42 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist gemessen. Ohne Abdeckung betragen die kumulierten CH_4 -Emissionen während der gesamten Lagerdauer $4,66 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist. Die Variante mit EM-Zusatz emittierte $6,75 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist während der 200-tägigen Lagerdauer (Abb. 34).

Abbildung 35 zeigt die kumulierten NH_3 -Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne Abdeckung und mit EM-Zusatz (ohne Abdeckung). Auch hier wurden in der Mitte des Versuches etwas höhere Emissionsraten gemessen als gegen Ende, als die Außen- und Flüssigmisttemperatur deutlich abnahm. Die Variante ohne Abdeckung emittierte in Summe $0,380 \text{ kg NH}_3/\text{m}^3$ Flüssigmist. Durch den einmaligen Zusatz von EM am Beginn der Lagerung konnten die NH_3 -Emissionen auf $0,286 \text{ kg NH}_3/\text{m}^3$ Flüssigmist gesenkt werden. Dieser Wert liegt nur wenig über der Emission, die aus dem Lagerbehälter mit fester Abdeckung gemessen wurde ($0,273 \text{ kg NH}_3/\text{m}^3$).

Die kumulierten N_2O -Emissionen stiegen während der gesamten Versuchsdauer nahezu linear an. Zwischen den drei Varianten wurde ein nur geringer Unterschied in der Emissionssumme gemessen. Mit fester Abdeckung belief sich die Summe an N_2O -Emissionen auf $114 \text{ g N}_2\text{O}/\text{m}^3$ Flüssigmist.

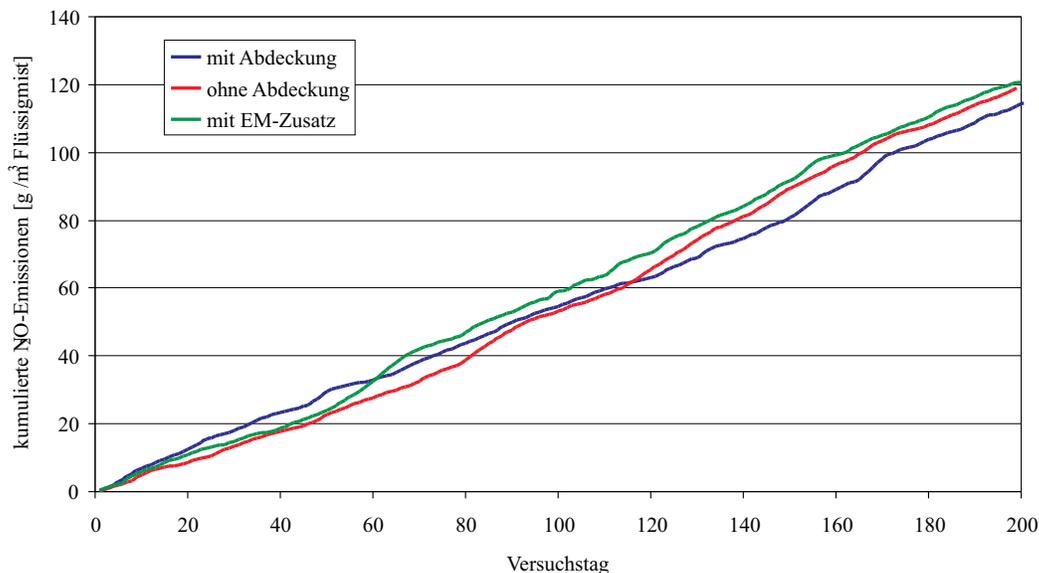


Abb. 36. Kumulierte N₂O-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

Ohne Abdeckung wurden Emissionen von 119 g N₂O/m³ Flüssigmist gemessen. Die Variante mit EM-Zusatz emittierte insgesamt 121 g N₂O/m³ Flüssigmist (Abb. 36).

Der Verlauf der kumulierten TOC-Emissionen zeigte bis etwa zum 80. Versuchstag einen kontinuierlich leicht ansteigenden Verlauf. Danach stiegen die TOC-Emissionen bei der Variante ohne Behälterabdeckung und bei der Variante mit EM-Zusatz stark an. Dieser Anstieg dauerte bis etwa zum 160. Versuchstag. Anschließend war die Zunahme der TOC-Emissionen gering. Bei der Variante mit fester Behälterabdeckung wurde vermehrter Anstieg der Emissionen nach dem 120. Versuchstag beobachtet. Die Emissionen dieser Variante blieben jedoch während der gesamten Lagerungsperiode deutlich unter den Emissionen der beiden anderen Varianten (Abb. 37).

In Summe wurden mit einer festen Behälterabdeckung TOC-Emissionen von 3,23 kg CH₄-Äquivalenten/m³ Flüssigmist gemessen. Ohne Abdeckung beliefen sich die TOC-Emissionen auf 6,79 kg CH₄-Äquivalente/m³ Flüssigmist. Die Variante mit EM-Zusatz emittierte 9,83 kg CH₄-Äquivalente/m³ Flüssigmist.

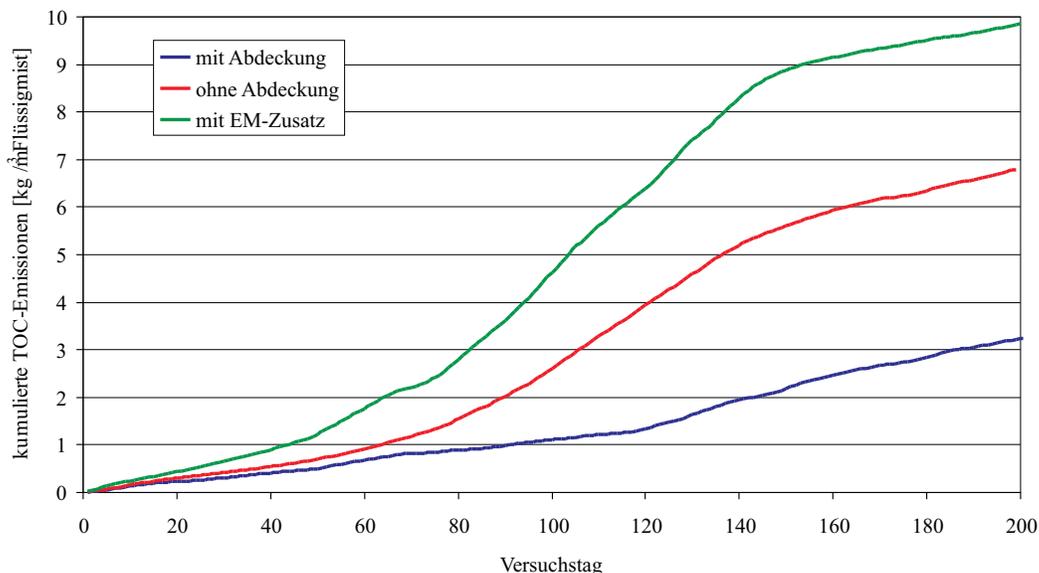


Abb. 37. Kumulierte TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von Juni bis Dezember 2004

4.2.2 Schweinefestmist

Dieses Kapitel stellt zunächst den Verlauf der Festmisttemperatur dar. Anschließend folgt der Verlauf der Emissionen während der beiden Messperioden mit Schweinefestmist. Aus den gemessenen Emissionen wurden die kumulierten Emissionen und die Gesamtemissionen berechnet, die den Abschluss des Kapitels bilden.

Festmisttemperatur. Aus Abbildung 38 kann der Verlauf der Temperatur im Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz abgelesen werden. Der Festmist mit EM-Zusatz wurde von Juni bis August 2004 gemessen, der Festmist ohne EM-Zusatz von August bis Dezember 2004. Im Festmist kommen während der Lagerung intensive mikrobielle Ab-, Um- und Aufbauprozesse in Gang, die zu einem Temperaturanstieg im Festmist führen. Die Festmisttemperatur wird hauptsächlich von diesen mikrobiellen Prozessen beeinflusst und weniger von der Umgebungstemperatur (AMON 1999 [1]).

Sowohl im Festmist ohne als auch im Festmist mit EM-Zusatz stieg die Temperatur zu Beginn der Lagerung sprunghaft an. Ohne EM-Zusatz war der Temperaturanstieg deutlicher ausgeprägt. Hier wurden Maximalwerte um 55 °C gemessen. Erst nach 40 Tagen sank sie wieder unter 50 °C ab. Nach

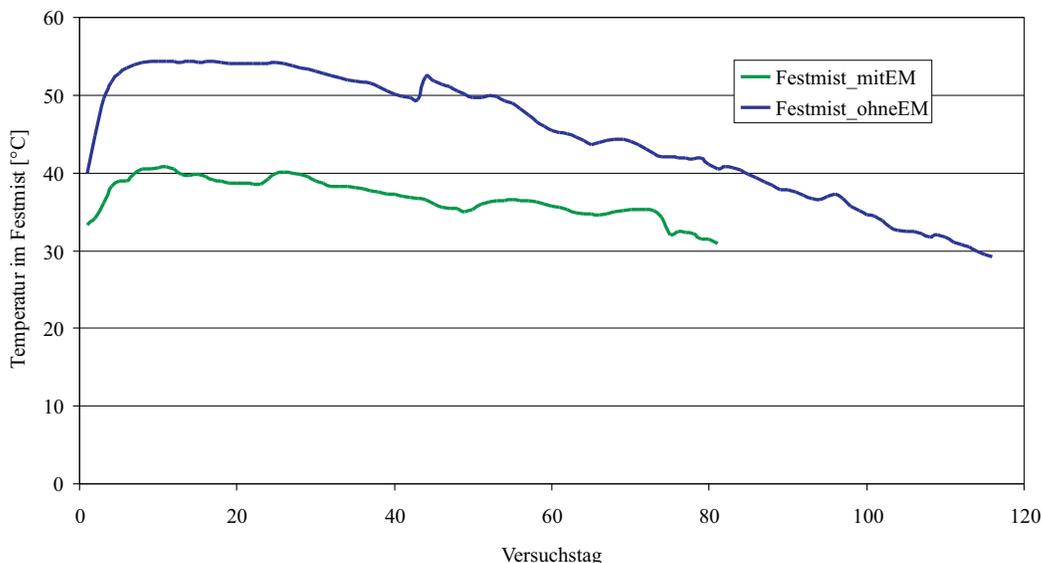


Abb. 38. Temperatur im Festmist mit und ohne Zusatz von EM

80 Tagen wurden 41°C gemessen. Selbst bei kühler Außentemperatur in den Monaten November und Dezember blieb die Temperatur im Festmisthaufen über 30°C . Die Ursache ist die mikrobielle Aktivität und die damit verbundene Wärmeabgabe.

Die maximale Temperatur im Festmist mit EM-Zusatz lag bei 40°C . Nach diesem Maximum, welches eine Woche nach Versuchsbeginn erreicht wurde, fielen die Temperaturen langsam ab. Am Ende der Versuche wurden 31°C im Festmist gemessen.

Emissionen im Verlauf der Lagerung. Abbildungen 39 bis 43 zeigen die täglichen CO_2 -, CH_4 -, NH_3 -, N_2O - und TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne Zusatz von EM. Jede Variante wurde zwei bis dreimal pro Woche für jeweils etwa 12–18 Stunden beprobt. Die in den Abbildungen dargestellten täglichen Emissionsraten beziehen sich jeweils auf eine Tonne Festmist.

Zu Beginn der Lagerung wurden hohe tägliche CO_2 -Emissionsraten gemessen. Die täglichen Emissionsraten aus dem Festmist ohne EM-Zusatz waren dabei höher als die Emissionsraten aus dem Festmist mit EM-Zusatz. Beim Festmist ohne EM-Zusatz wurde eine maximale Emission von fast $9 \text{ kg CO}_2/\text{t Festmist} \cdot \text{d}$ gemessen. Der Festmist mit EM-Zusatz hatte eine maximale CO_2 -Emission von knapp $4 \text{ g CO}_2/\text{t Festmist} \cdot \text{d}$. Ab etwa dem 20. Ver-

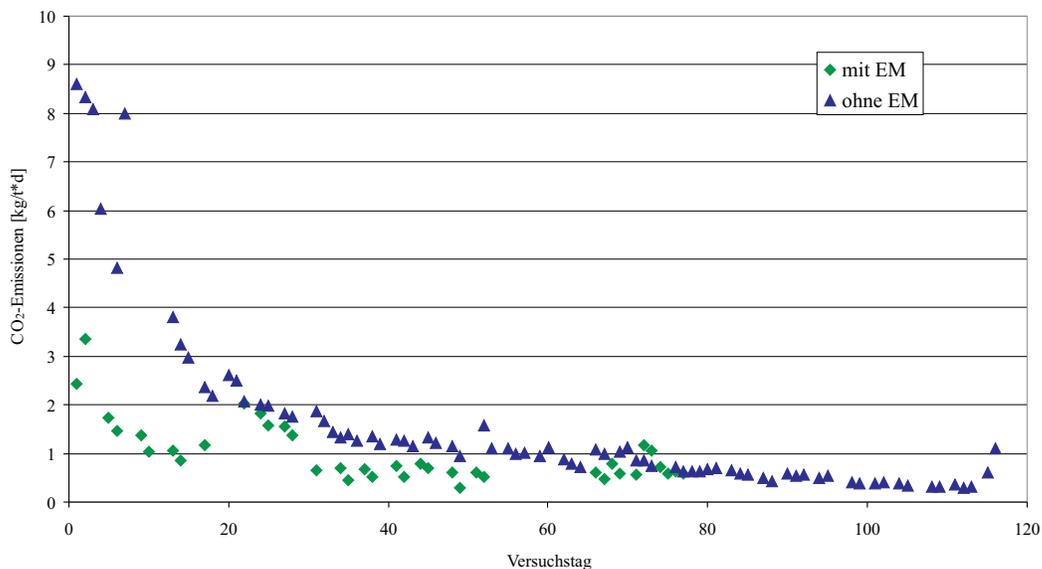


Abb. 39. Tägliche CO_2 -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

suchstag sank die tägliche CO_2 -Emission rapide ab und blieb anschließend auf niedrigem Niveau (Abb. 39).

Die tägliche CH_4 -Freisetzung erreichte bei beiden Varianten zwischen dem 20. und dem 40. Versuchstag ein Maximum. Die maximale tägliche CH_4 -Emission betrug rund $120 \text{ g CH}_4/\text{t Festmist} \cdot \text{d}$. Bei der Variante ohne EM-Zusatz sanken die täglichen CH_4 -Emissionen im Anschluss bis zum Ende der Lagerung kontinuierlich ab. Bei dem Festmist, dem EM zugesetzt worden war, war um den 70. Versuchstag nochmals ein leichter Anstieg der täglichen CH_4 -Emissionen zu beobachten (Abb. 40).

Sowohl bei Festmist mit EM-Zusatz als auch bei unbehandeltem Festmist war die NH_3 -Freisetzung am Beginn der Lagerung maximal, sank dann ab und bewegte sich ab etwa dem 30. Versuchstag bei nahezu null. Allerdings war das Maximum der NH_3 -Freisetzung bei unbehandeltem Festmist deutlich höher als bei Festmist, dem EM zu Beginn der Lagerung zugesetzt worden war. Ohne EM-Zusatz wurden maximale tägliche NH_3 -Emissionen von fast $400 \text{ g NH}_3/\text{t Festmist} \cdot \text{d}$ gemessen. Bei EM-Zusatz betrug die maximale Emission knapp $200 \text{ g NH}_3/\text{t Festmist} \cdot \text{d}$ (Abb. 41).

Die N_2O -Emissionen waren am Beginn der Lagerung bei beiden Varianten gering. Sie stiegen erst nach rund 3 Wochen an. Bis zum Ende der Lagerung streuten die N_2O -Emissionen dann in einem Bereich zwischen rund 3 und

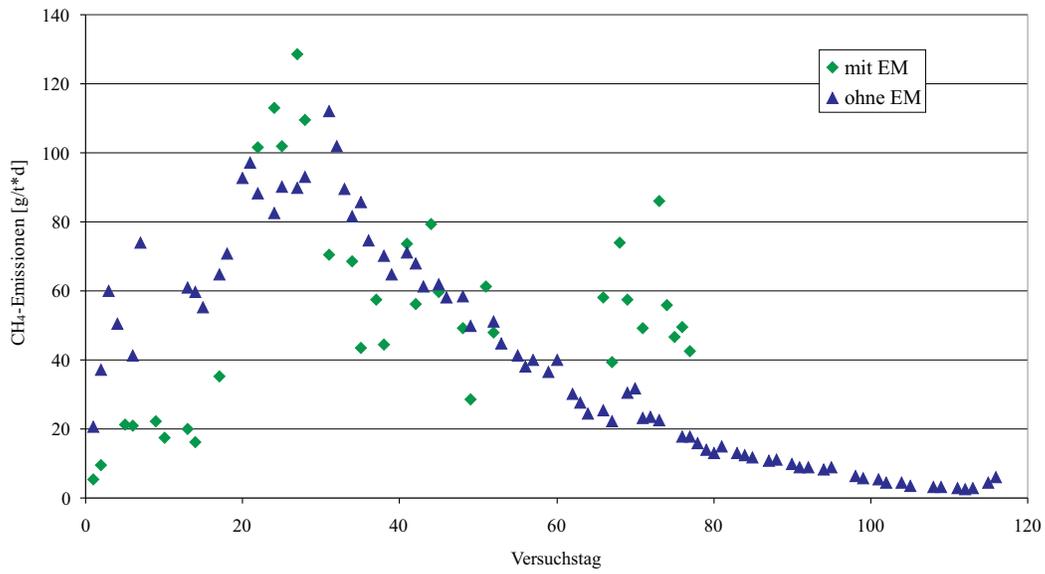


Abb. 40. Tägliche CH₄-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

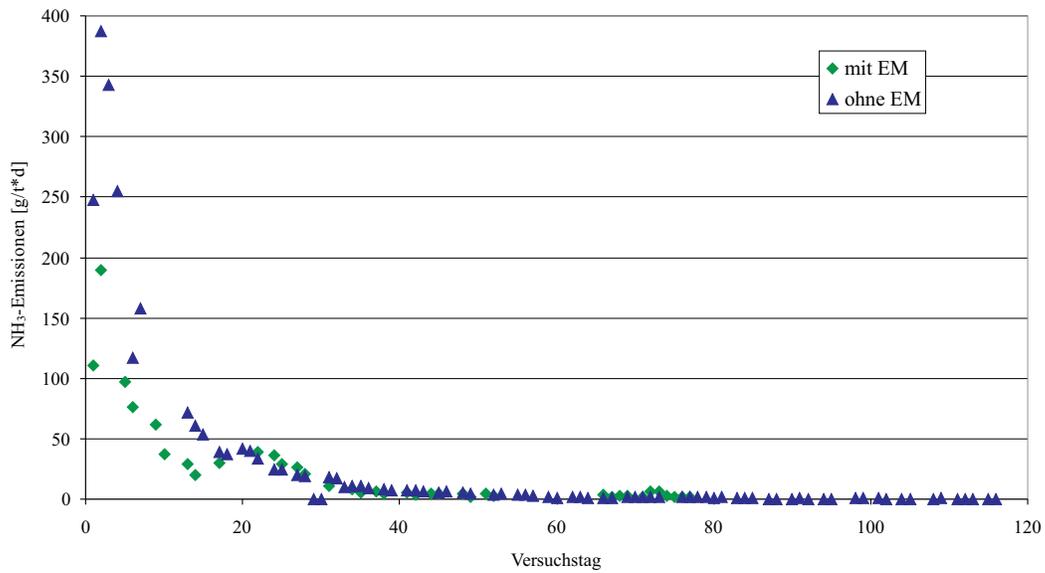


Abb. 41. Tägliche NH₃-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

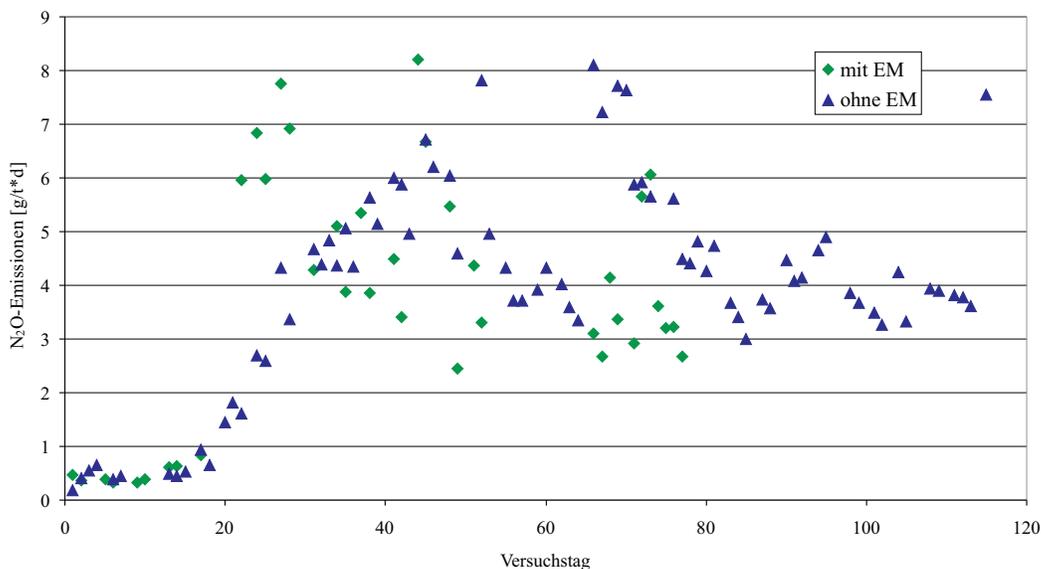


Abb. 42. Tägliche N_2O -Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

8 g N_2O /t Festmist · d. Im Gegensatz zu den anderen gasförmigen Emissionen blieb die N_2O -Freisetzung auch am Ende der Lagerung auf gleichbleibendem Niveau. Ein Absinken der Emissionen wurde im Versuchszeitraum nicht beobachtet (Abb. 42).

Die TOC-Emissionen stiegen unmittelbar nach Beginn der Lagerung an und erreichten um den 30. Versuchstag ein Maximum. Mit EM-Zusatz wurden höhere maximale tägliche TOC-Emissionen gemessen als ohne EM-Zusatz. Nach dem 30. Versuchstag sanken die TOC-Emissionen ab. Bei der Variante ohne EM-Zusatz hatten sich die TOC-Emissionen nach dem 80. Tag auf niedrigem Niveau eingependelt (Abb. 43).

Kumulierte Emissionen. Festmist mit EM-Zusatz wurde vom 02.06. bis 16.08.2004 gelagert. In dieser Zeit wurden rund 3.200 Emissionswerte erfasst. Die Lagerung von Festmist ohne EM-Zusatz erstreckte sich vom 16.08. bis 09.12.2004. In dieser Zeit wurden rund 5.800 Emissionswerte erfasst. Aus den Rohdaten wurde zunächst die Emission pro Tag errechnet. Diese täglichen Emissionen wurden zu den kumulierten Emissionen addiert. Der Endwert entspricht der gesamten im Versuchszeitraum emittierten Gasmenge.

Abbildungen 44 bis 48 zeigen den Verlauf der kumulierten Emissionen von CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O und TOC während der Lagerung von Schwei-

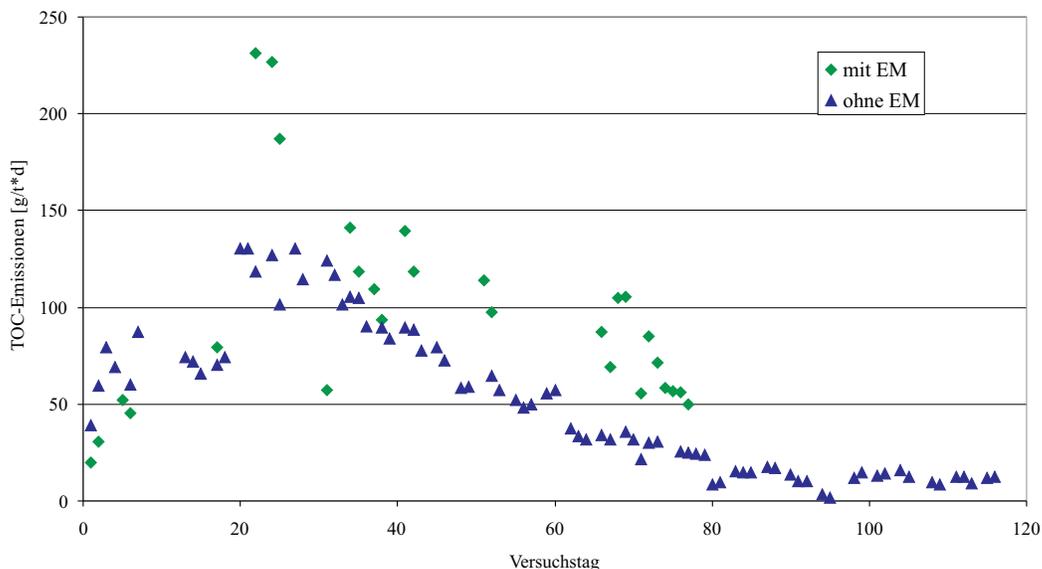


Abb. 43. Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

nefestmist mit und ohne Zusatz von EM. Die längere Lagerungsdauer von unbehandeltem Festmist ist in den Abbildungen vollständig dargestellt. Der abschließende Vergleich der kumulierten Emissionen bezieht sich dann aber auf die kumulierten Emissionen nach 80 Tagen Lagerung, um vergleichbare Bedingungen zum Festmist mit EM-Zusatz zu erhalten.

Die kumulierten CO_2 -Emissionen von unbehandeltem Festmist stiegen am Beginn der Lagerung stark an und flachten gegen Ende ab. Nach 80 Tagen hatten sie ein Niveau von $178,6 \text{ kg CO}_2/\text{t}$ Festmist erreicht. Nach 115 Tagen waren es $197,8 \text{ kg CO}_2/\text{t}$ Festmist. Die CO_2 -Emissionen bei Festmist mit EM-Zusatz blieben deutlich unter denen des unbehandelten Festmistes. In Summe wurden nach 80 Tagen Lagerungsdauer $75,7 \text{ kg CO}_2/\text{t}$ Festmist freigesetzt (Abb. 44).

Bei unbehandeltem Flüssigmist stiegen die kumulierten CH_4 -Emissionen bis etwa zum 60. Versuchstag nahezu linear. Danach reduzierte sich die Emissionszunahme. Ab etwa dem 80. Lagerungstag war nur noch eine geringe Zunahme in den CH_4 -Emissionen festzustellen. Nach 80 Tagen waren $4,40 \text{ kg CH}_4/\text{t}$ Festmist freigesetzt worden. Nach 115 Tagen waren es $4,70 \text{ kg CH}_4/\text{t}$ Festmist (Abb. 45).

Auch bei Festmist mit EM-Zusatz stiegen die CH_4 -Emissionen bis zum 80. Versuchstag an. Sie blieben mit $4,22 \text{ kg CH}_4/\text{t}$ Festmist aber leicht unter

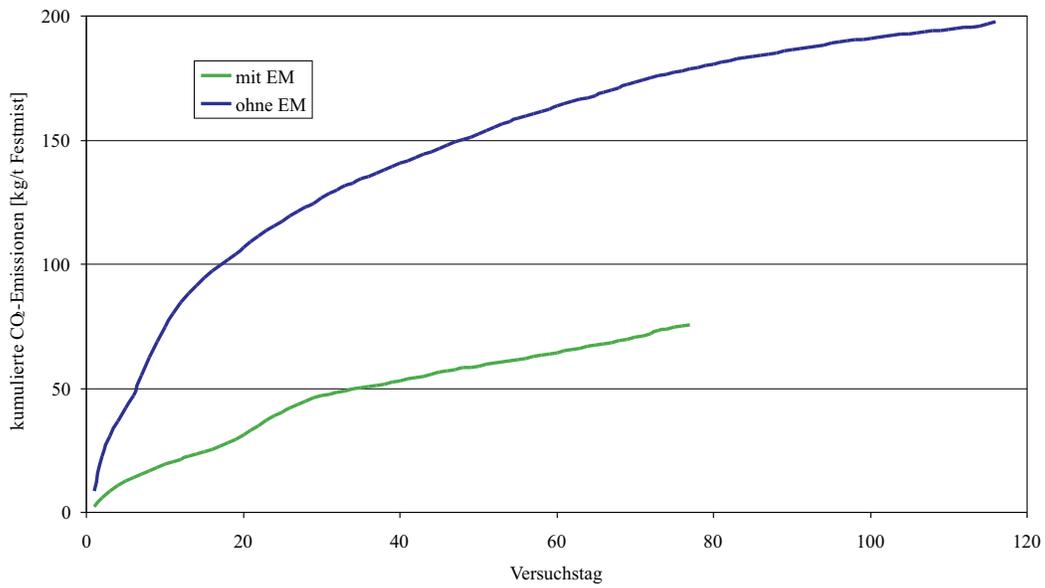


Abb. 44. Kumulierte CO₂-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

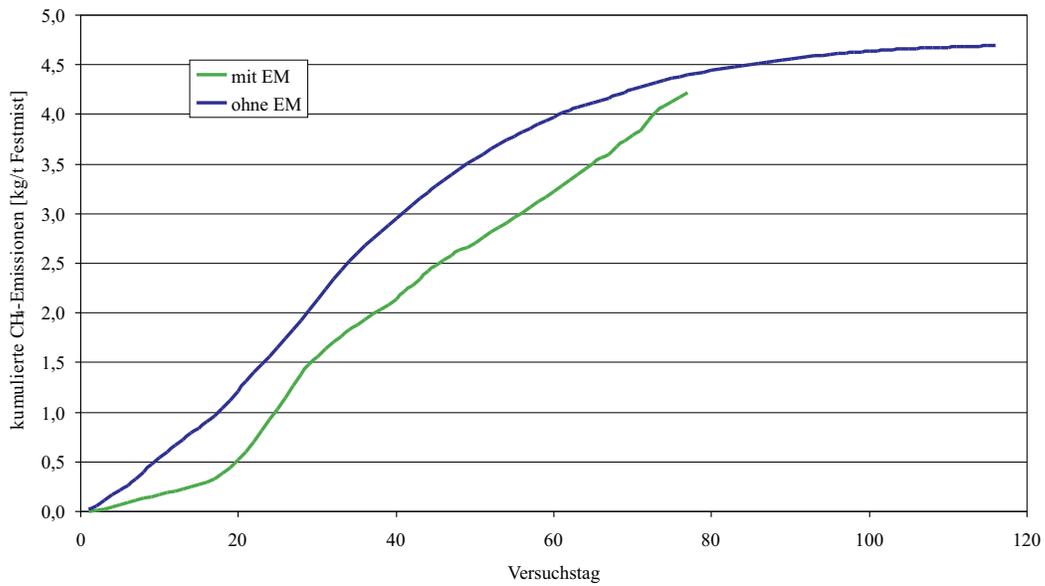


Abb. 45. Kumulierte CH₄-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

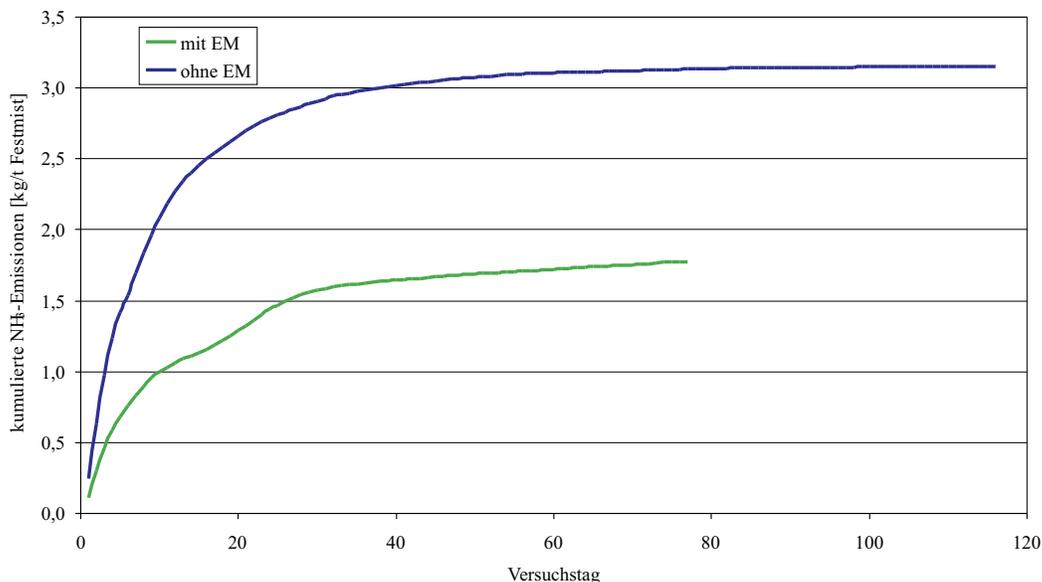


Abb. 46. Kumulierte NH₃-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

dem Niveau der CH₄-Emissionen aus unbehandeltem Festmist.

Abbildung 46 zeigt die kumulierten NH₃-Emissionen von Festmist mit und ohne EM-Zusatz. Vor allem bei unbehandeltem Festmist war zu Beginn der Lagerung ein sehr starker Anstieg der kumulierten NH₃-Emissionen zu beobachten. Nach dem 40. Lagerungstag war die weitere Zunahme der kumulierten NH₃-Emissionen gering. Nach 80 Tagen belief sich die Summe an NH₃-Emissionen auf 3,13 kg NH₃/t Festmist. Nach 115 Tagen war ein Emissionsniveau von auf 3,15 kg NH₃/t Festmist erreicht.

Der Zusatz von EM zu Beginn der Festmistlagerung führte zu einer starken Verminderung der kumulierten NH₃-Emissionen auf 1,78 kg NH₃ /t Festmist. Dies ist rund 44% weniger als bei unbehandeltem Festmist.

Nach anfänglich geringen Emissionen stiegen die kumulierten N₂O-Emissionen etwa ab dem 20. Versuchstag bei beiden Varianten nahezu linear an und blieben während der restlichen Lagerungsdauer auf etwa konstantem Niveau.

Unbehandelter Festmist emittierte bis zum 80. Lagerungstag in Summe 295 g N₂O/t Festmist. Am Ende der Lagerung, nach 115 Tagen, beliefen sich die kumulierten N₂O-Emissionen auf 462 g N₂O/t Festmist. Festmist mit EM-Zusatz emittierte bis zum 80. Versuchstag etwa 9% weniger N₂O als unbehandelter Festmist: 268 g N₂O /t Festmist (Abb. 47).

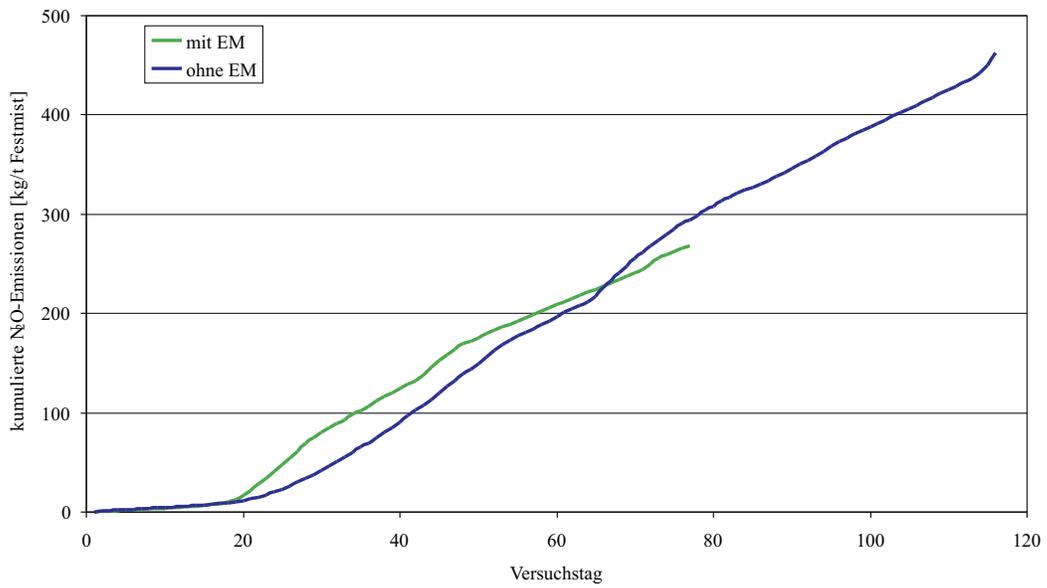


Abb. 47. Kumulierte N₂O-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

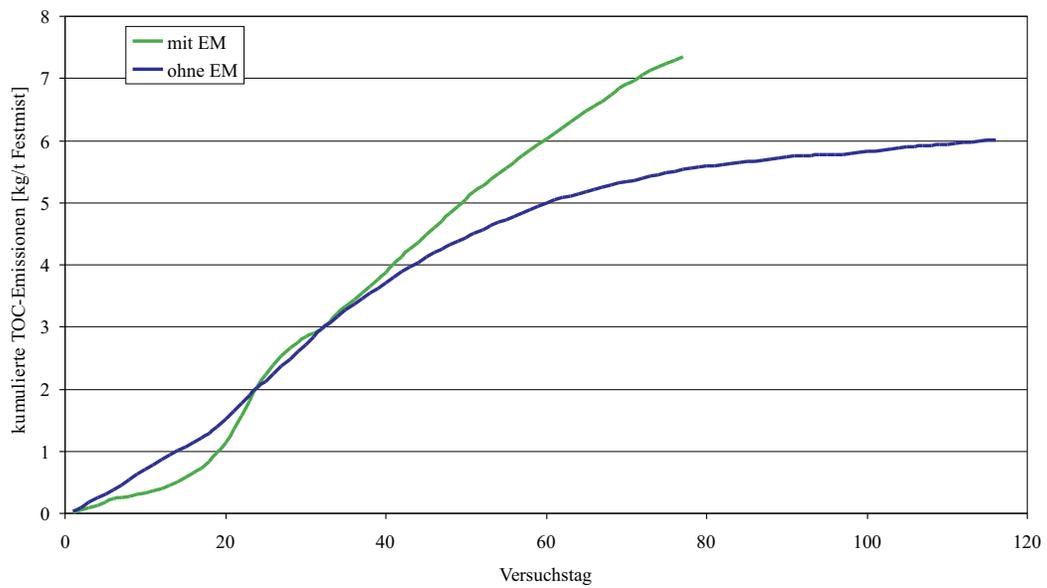


Abb. 48. Kumulierte TOC-Emissionen im Verlauf der Festmistlagerung mit und ohne EM-Zusatz

Bei unbehandeltem Festmist waren die TOC-Emissionen zu Beginn der Lagerung hoch und flachten etwa ab dem 50. Lagerungstag ab. Danach waren bis zum Versuchsende geringe Emissionen von TOC nachweisbar. In Summe betrug die emittierte Menge an TOC bis zum 80. Lagerungstag 5,53 kg CH₄-Äquivalente je t Festmist. Nach 115 Tagen waren 6,01 kg CH₄-Äquivalente je t Festmist freigesetzt worden (Abb. 48).

Bei Festmist mit EM-Zusatz stiegen die TOC-Emissionen nach anfänglich geringen Freisetzungsraten ab etwa dem 20. Versuchstag an und nahmen im weiteren Verlauf der Lagerung nicht ab. Nach 80 Tagen belief sich die Summe an TOC-Emissionen auf 7,35 kg CH₄-Äquivalente je t Festmist (Abb. 48).

4.2.3 Schweineflüssigmist — kühle Witterung

Dieses Kapitel stellt zunächst den Verlauf der Flüssigmisttemperatur dar. Anschließend folgt der Verlauf der Emissionen während der Messperiode von April bis Juni 2005. Aus den gemessenen Emissionen wurden die kumulierten Emissionen und die Gesamtemissionen berechnet, die den Abschluss des Kapitels bilden.

Flüssigmisttemperatur. Die Temperatur im Schweineflüssigmist während der Lagerung von April bis Juni 2005 ist in Abbildung 49 dargestellt. Zu Beginn der Lagerungsperiode lag die Temperatur im Flüssigmist unter 10 °C. Sie blieb bis Ende April 2005 auf nahezu konstant niedrigem Niveau. Mit Zunahme der Außentemperatur wurde danach auch ein langsamer Anstieg der Temperatur im Flüssigmist beobachtet. Erst Ende Mai wurden Werte über 15 °C erreicht. Dies entspricht dem Wert, der im Flüssigmist unter warmen Bedingungen bereits zu Beginn der Lagerung gemessen worden war (siehe Abb. 27). Anfang Juni 2005, am Ende der Lagerungsperiode, hatte die Flüssigmisttemperatur rund 18 °C erreicht.

Emissionen im Verlauf der Lagerung. Abbildungen 50 bis 54 zeigen die täglichen CO₂-, CH₄-, NH₃-, N₂O- und TOC-Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter kühlen Witterungsverhältnissen. Untersucht wurde Flüssigmist mit fester Abdeckung und Flüssigmist ohne Abdeckung.

In den Abbildungen ist die Summe an Emissionen dargestellt, die aus jedem Lagerbehälter ermittelt wurde. Die Emissionen sind noch nicht auf einen m³ Flüssigmist umgerechnet. Da jedoch alle beiden Behälter mit einer ähnlichen Menge an Flüssigmist gefüllt waren, erlauben die nachfolgenden Abbildungen einen Vergleich des Emissionsverlaufs zwischen den untersuchten Varianten.

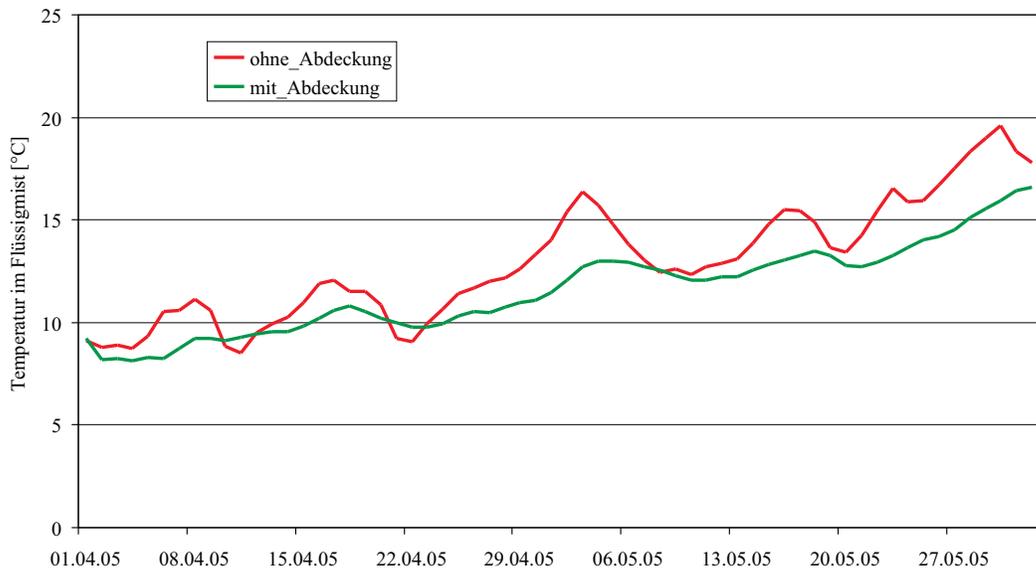


Abb. 49. Temperatur im Flüssigmist während der Lagerung von April bis Juni 2005

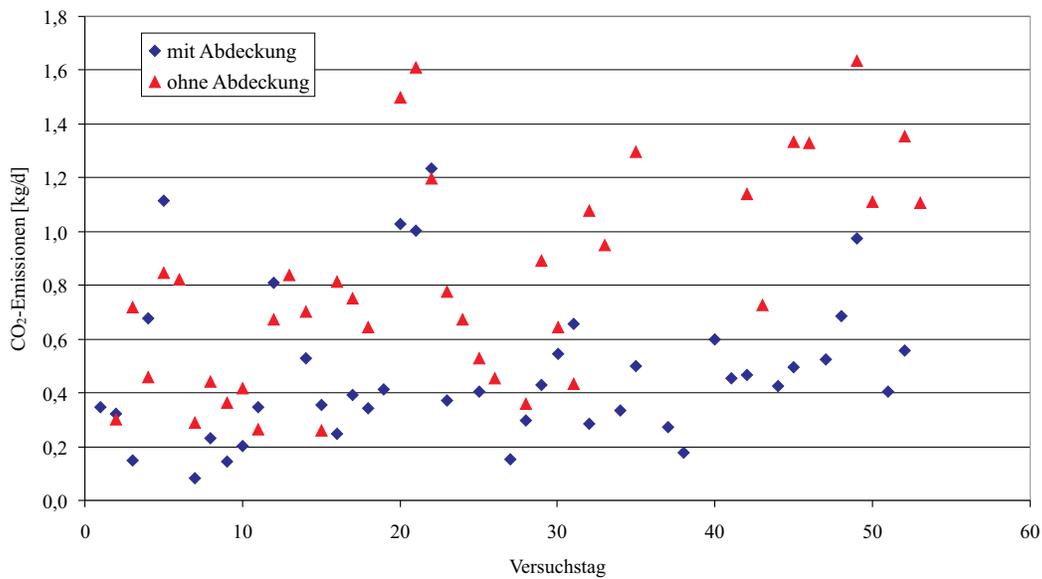


Abb. 50. Tägliche CO₂-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

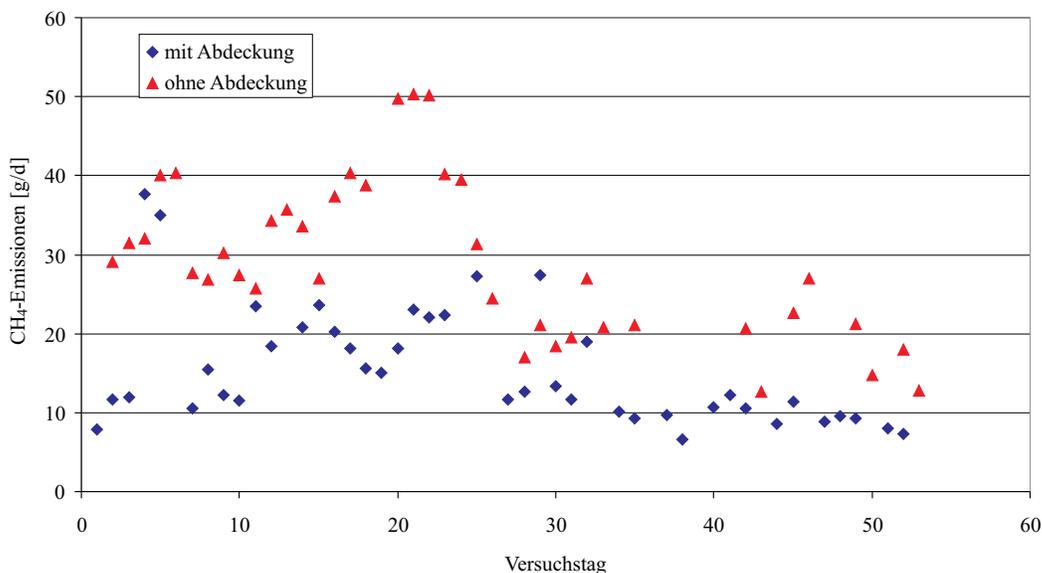


Abb. 51. Tägliche CH_4 -Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

Die täglichen CO_2 -Emissionen zeigten im Verlauf der Lagerung deutliche Schwankungen zwischen etwas über 0 bis zu rund $1,6 \text{ kg CO}_2/\text{d}$. Gegen Ende des Versuchs, mit Anstieg der Flüssigmisttemperatur, wurde ein leichter Aufwärtstrend in den täglichen Emissionen beobachtet (Abb. 50).

Auch bei den täglichen CH_4 -Emissionen war während der Flüssigmistlagerung unter kühlen Witterungsbedingungen kein eindeutiger Trend zu beobachten. Sie schwankten zwischen etwa 10 und $50 \text{ g CH}_4/\text{d}$. Nach dem 40. Versuchstag lagen die täglichen CH_4 -Emissionen auf deutlich niedrigerem Niveau als zu Beginn der Versuche (Abb. 51).

Der Schweineflüssigmist, der ohne feste Behälterabdeckung gelagert wurde, emittierte in der ersten Versuchshälfte teilweise beträchtliche Mengen NH_3 . Die maximale tägliche Emission erreichte fast $12 \text{ g NH}_3/\text{d}$. Wurde der Schweineflüssigmist mit fester Abdeckung gelagert, so lagen die täglichen NH_3 -Emissionen deutlich niedriger. Nach dem 30. Versuchstag wurden bei beiden Varianten Emissionen zwischen etwa 2 und $4 \text{ g NH}_3/\text{d}$ gemessen (Abb. 52).

Die täglichen N_2O -Emissionen waren zu Beginn der Versuche gering. Bis zum 10. Versuchstag lagen sie meist unter $2 \text{ g N}_2\text{O}/\text{d}$. Danach stiegen die N_2O -Emissionen vor allem bei dem nicht abgedeckten Schweineflüssigmist deutlich an und erreichten Werte von bis zu $17 \text{ g N}_2\text{O}/\text{d}$. Beim Flüssigmist mit

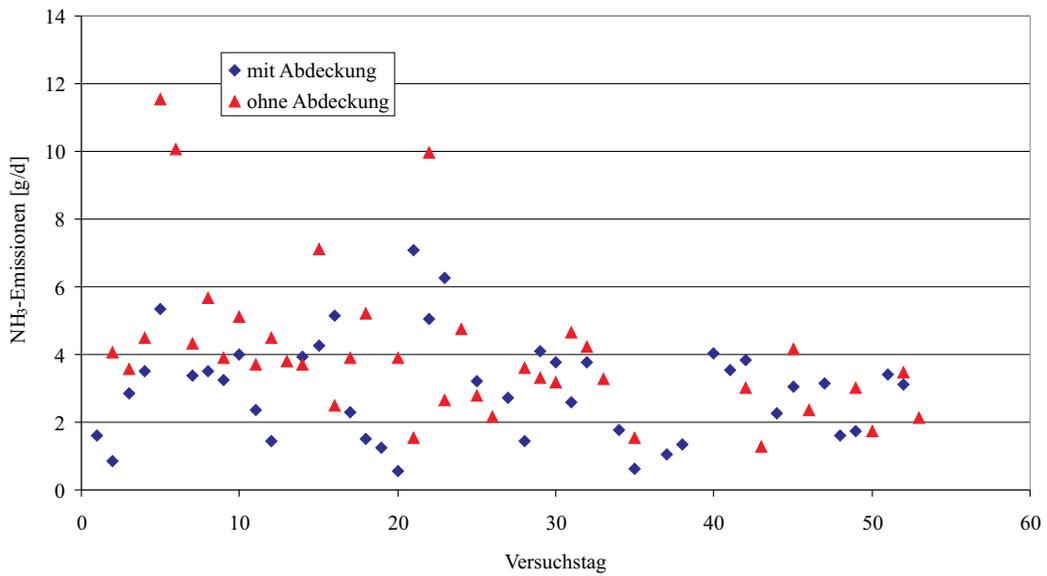


Abb. 52. Tägliche NH₃-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

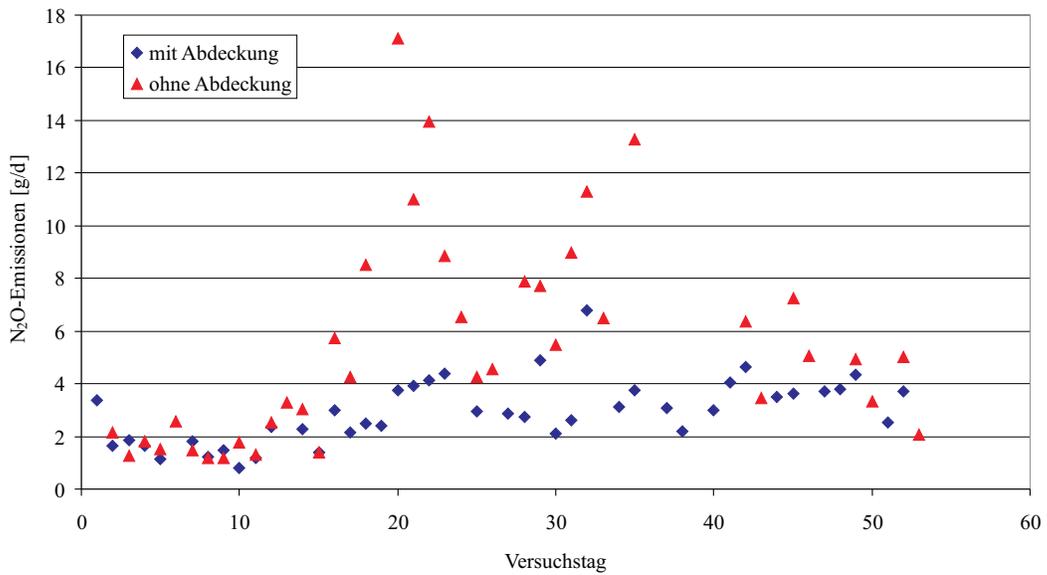


Abb. 53. Tägliche N₂O-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

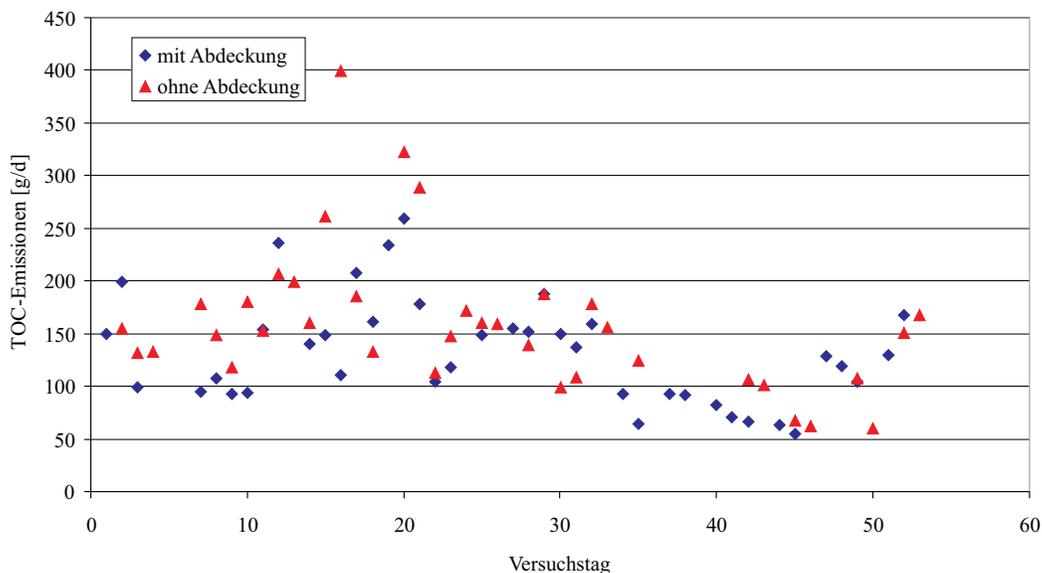


Abb. 54. Tägliche TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

fester Behälterabdeckung wurde nur ein leichter Anstieg der N_2O -Emissionen beobachtet. Am Ende des Versuches schwankten die N_2O -Emissionen bei beiden Varianten um $4 \text{ g } N_2O/d$ (Abb. 53).

Die täglichen TOC-Emissionen waren bis etwas zum 30. Versuchstag auf etwas höherem Niveau als in der zweiten Hälfte des Versuches. Die Variante ohne feste Behälterabdeckung erreichte einen Maximalwert von rund 400 g TOC/d . Bis zum 50. Versuchstag blieben die täglichen TOC-Emissionen auf nahezu gleichbleibendem Niveau. In den letzten Versuchstagen, als auch die Außentemperatur anstieg, wurde eine Zunahme der täglichen TOC-Emissionen gemessen (Abb. 54).

Kumulierte Emissionen. Stündlich wurden rund 6 Emissionsmesswerte erfasst. Aus diesen errechnete sich die oben dargestellte tägliche Emission im Versuchsverlauf. Diese täglichen Emissionen wurden zu den kumulierten Emissionen addiert. Der Endwert entspricht der gesamten im Versuchszeitraum emittierten Gasmenge.

Abbildungen 55 bis 59 zeigen den Verlauf der kumulierten Emissionen von CO_2 , CH_4 , NH_3 , N_2O und TOC während der Lagerung von Schweineflüssigmist mit und ohne Abdeckung unter kühlen Witterungsbedingungen.

Die kumulierten CO_2 -Emissionen stiegen bei beiden Varianten im gesam-

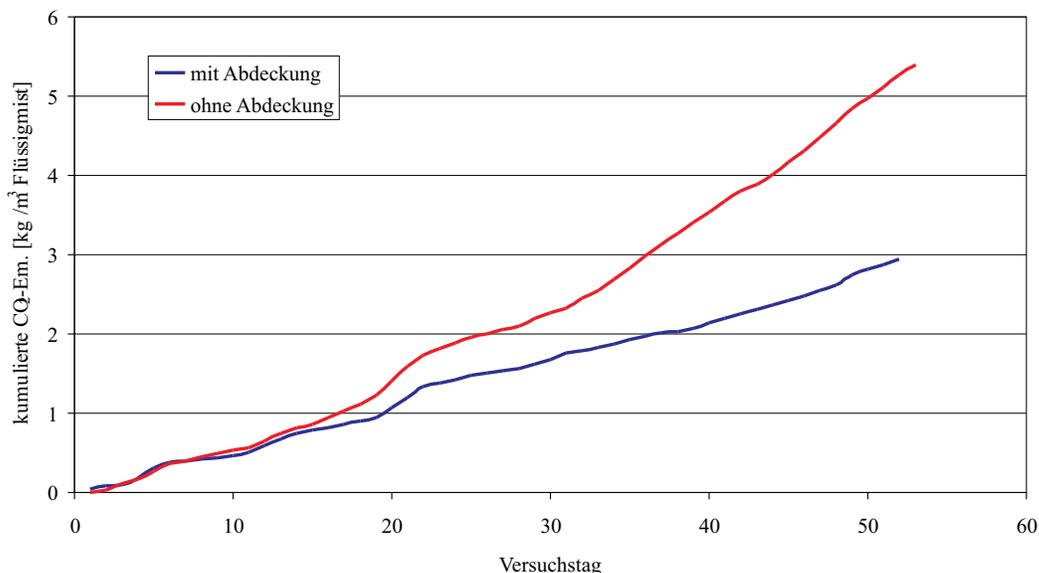


Abb. 55. Kumulierte CO₂-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

ten Versuchsverlauf an. Der Anstieg bei der Variante ohne feste Behälterabdeckung war deutlich höher als bei der Variante mit fester Abdeckung. In Summe emittierte die nicht abgedeckte Variante 5,40 kg CO₂/m³ Flüssigmist. Der Schweineflüssigmist, der mit fester Abdeckung gelagert wurde, setzte insgesamt 2,94 kg CO₂/m³ Flüssigmist frei (Abb. 55).

Auch bei den kumulierten CH₄-Emissionen wurde während der gesamten Lagerungsdauer ein annähernd linearer Anstieg beobachtet. Die CH₄-Emissionen hätten sich noch weiter erhöht, wenn die Messungen länger andauert hätten. Wurde der Schweineflüssigmist in einem nicht abgedeckten Behälter gelagert, so belief sich die Summe an CH₄-Emissionen auf 164,9 g CH₄/m³ Flüssigmist. Eine feste Abdeckung des Lagerbehälters konnte die CH₄-Emissionen deutlich senken. Hier wurden lediglich 95,0 g CH₄/m³ Flüssigmist freigesetzt (Abb. 56).

Die kumulierten NH₃-Emissionen stiegen während der gesamten Lagerungsdauer linear an. Die Variante ohne Abdeckung hatte zu Beginn der Lagerung kurzzeitig höhere NH₃-Emissionen als die Variante mit Abdeckung. Im restlichen Lagerungszeitraum verlief der Anstieg der kumulierten Emissionen beider Varianten nahezu parallel. Ohne Abdeckung wurde eine Emissionssumme von 22,37 g NH₃/m³ Flüssigmist freigesetzt. Eine feste Abdeckung konnte die Emissionen auf 18,52 g NH₃/m³ Flüssigmist senken (Abb. 57).

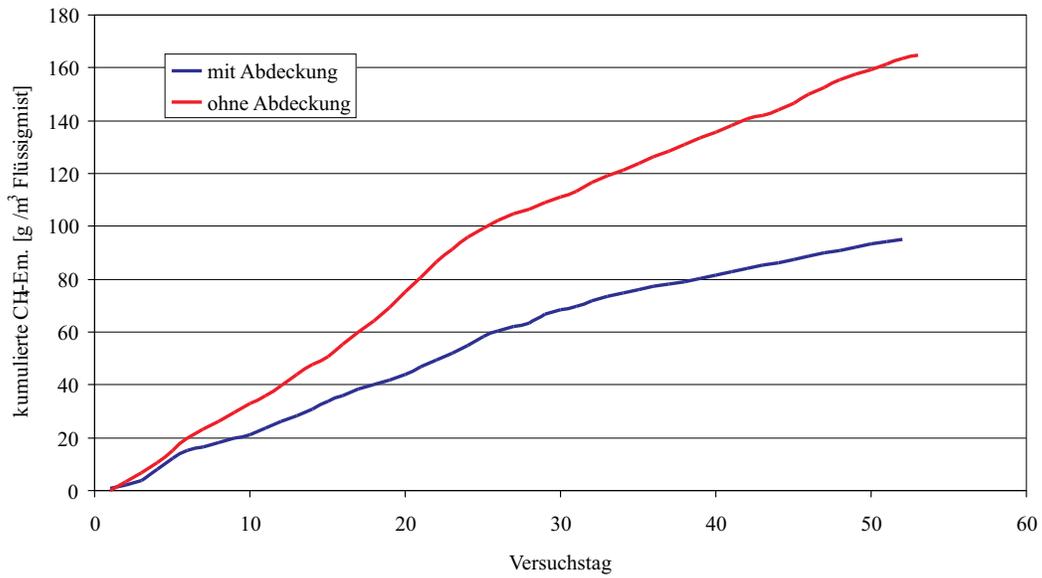


Abb. 56. Kumulierte CH₄-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

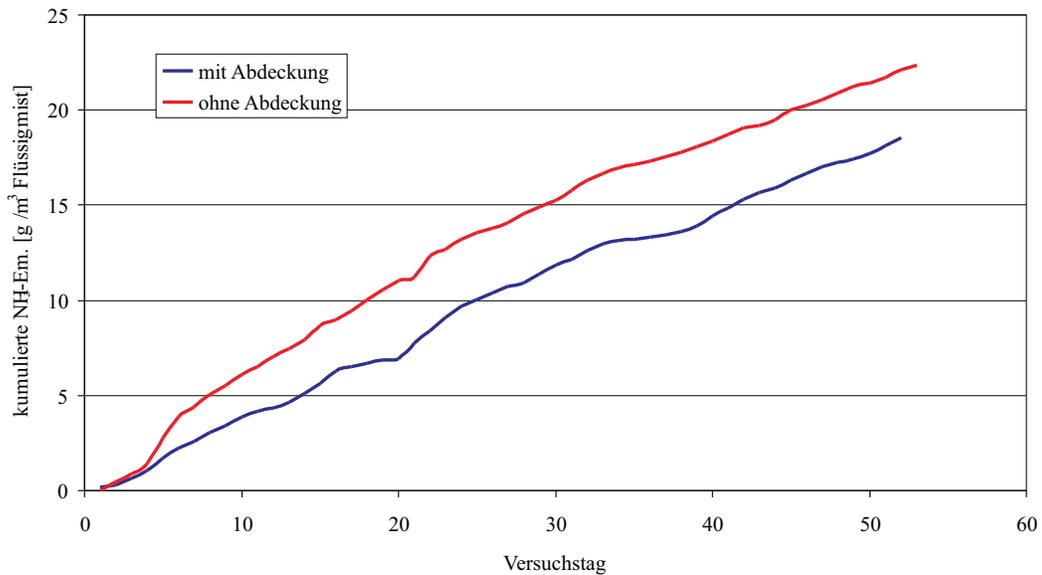


Abb. 57. Kumuliert NH₃-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

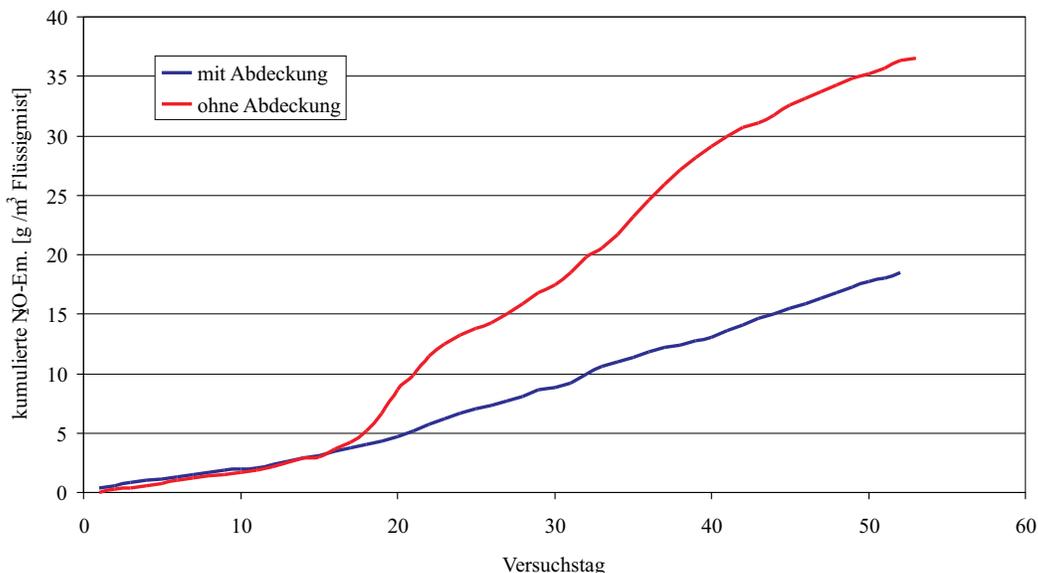


Abb. 58. Kumuliert N₂O-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

Die kumulierten N₂O-Emissionen stiegen bis etwa zum 15. Tag der Lagerung nur geringfügig an. Bis zu diesem Zeitpunkt traten kaum Unterschiede zwischen dem abgedeckten und dem nicht abgedeckten Flüssigmist auf. Danach erhöhte sich die N₂O-Emissionsrate bei beiden Varianten. Besonders deutlich ausgeprägt war der Anstieg der Emissionen bei der nicht abgedeckten Variante. Hier wurden bis Versuchsende in Summe 36,5 g N₂O/m³ Flüssigmist emittiert. Bei fester Behälterabdeckung beliefen sich die kumulierten Emissionen nach 50 Tagen auf 18,5 g N₂O/m³ Flüssigmist (Abb. 58).

Bei den kumulierten TOC-Emissionen wurde bei beiden Varianten während des gesamten Versuchszeitraumes eine kontinuierliche Zunahme beobachtet. Die TOC-Emissionsrate bei Schweineflüssigmist mit fester Behälterabdeckung lag etwas unter der, die von Schweineflüssigmist ohne Behälterabdeckung gemessen wurde. In Summe wurden mit fester Abdeckung TOC-Emissionen von 790 g TOC/m³ Flüssigmist gemessen. War keine Abdeckung vorhanden, so beliefen sich die TOC-Emissionen nach 50 Tagen Lagerungsdauer auf 898 g TOC/m³ Flüssigmist (Abb. 59).

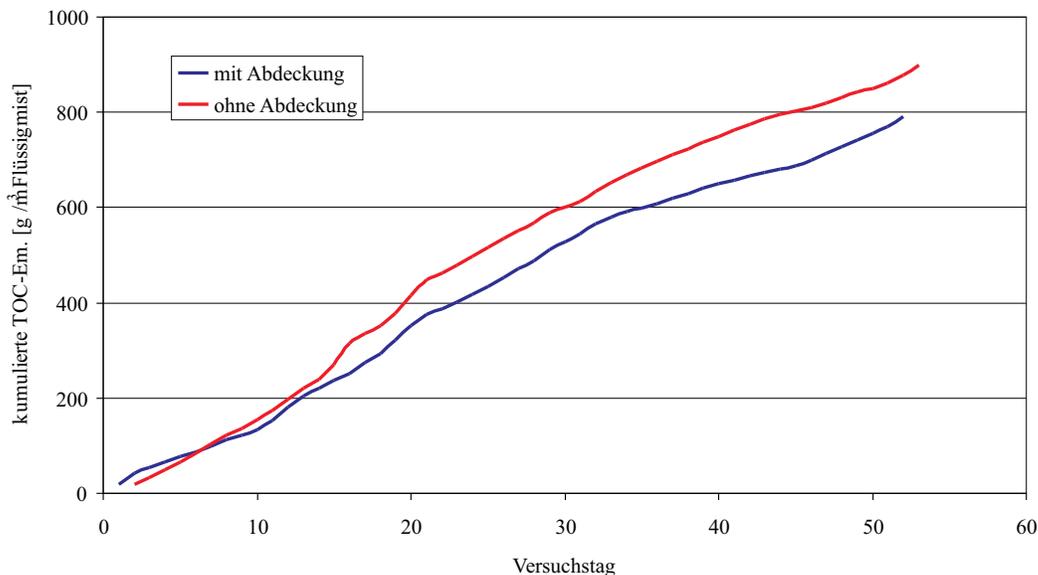


Abb. 59. Kumuliert TOC-Emissionen im Verlauf der Flüssigmistlagerung von April bis Juni 2005

4.2.4 Vergleich der Emissionen von Schweinefestmist und von Schweineflüssigmist unter warmen und unter kühlen Bedingungen

Dieses Kapitel zeigt zusammenfassend die Emissionen von CH_4 , N_2O , NH_3 und TOC die während der Lagerung von Schweinefestmist und Schweineflüssigmist gemessen wurden. Zusätzlich sind auch die klimarelevanten Emissionen dargestellt. Sie wurden aus den CH_4 - und N_2O -Emissionen errechnet. CH_4 hat eine 21fach höhere Klimawirksamkeit als CO_2 . Bei N_2O beträgt der CO_2 -Äquivalenzfaktor 310 (HOUGHTON ET AL. 1996 [26]).

Aus Tabelle 13 können die kumulierten Emissionen entnommen werden,

Tabelle 13. Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweinefestmist (Lagerungsdauer: 80 Tage).

Variante	\bar{x} Temp. [°C]	Kumulierte Emissionen von ...			
		CH_4 [kg/t]	N_2O [g/t]	NH_3 [kg/t]	TOC [kg/t]
Festmist ohne EM	49,4	4,40	295	3,13	5,53
Festmist mit EM	36,9	4,22	268	1,78	7,35

die während der Lagerung von Schweinefestmist mit und ohne EM-Zusatz gemessen wurden. Im unbehandelten Festmist betrug die mittlere Temperatur 49,4 °C. Der mit EM behandelte Festmist erreichte im Mittel nur eine Temperatur von 36,9 °C und dass, obwohl er bei etwas höheren Außentemperaturen gelagert wurde als der unbehandelte Festmist. Vermutlich hat die EM-Zugabe die mikrobiologischen Prozesse eher in den anaeroben Bereich verschoben, was in Folge zu niedrigeren Temperaturen führte als beim unbehandelten Schweinefestmist, bei dem zumindest zu Beginn der Lagerung aerobe Kompostierungsprozesse in Gang gekommen waren. Ein weitere Hinweis auf die eher aeroben Prozess im unbehandelten Festmist sind dessen höhere CO₂-Emissionen (siehe Abb. 44).

CH₄- und N₂O-Emissionen waren bei EM-Zusatz geringer als bei unbehandeltem Festmist. Die CH₄-Emissionen im Festmist mit EM-Zusatz waren um rund 4 % geringer als die CH₄-Emissionen aus unbehandeltem Festmist. Bei den N₂O-Emissionen wurde ein Rückgang von rund 9 % beobachtet.

Die kumulierten NH₃-Emissionen beliefen sich bei unbehandeltem Festmist auf 3,13 kg NH₃/t Festmist. Durch EM-Zugabe konnten sie um 43 % auf 1,78 kg NH₃/t Festmist gesenkt werden. Auch dies kann ein Hinweis auf vermehrt anaerobe Prozesse sein. NH₃-Emissionen sind oftmals bei der Festkompostierung erhöht, insbesondere dann, wenn Festmist mit geringem Strohannteil kompostiert wird. Bei anaerober Festmistlagerung werden meist geringere NH₃-Emissionen gemessen (AMON 1999 [1]).

Die TOC-Emissionen im Festmist mit EM-Zugabe waren im Vergleich zu unbehandeltem Festmist um rund 33 % erhöht. Sie betragen 7,35 kg TOC/t Festmist im Vergleich zu 5,53 kg TOC/t Festmist. TOC-Emissionen sind ein Hinweis auf das mögliche Geruchsemissionspotential, können aber nicht direkt mit Geruchsemissionen korreliert werden. Hierfür wären gesonderte Messungen erforderlich. Auch enthält die Summe an TOC-Emissionen keine Aussagen über die Hedonik, also die Qualität der Geruchsemissionen.

Tabelle 14 fasst die Emissionen aus Schweineflüssigmist zusammen. Schweineflüssigmist wurde einmal unter warmen und einmal unter kühlen Witterungsbedingungen gelagert. In der warmen Messperiode wurde zusätzlich der Einfluss von EM-Zugabe auf den Umfang der Emissionen untersucht. Die Lagerungsperiode unter warmen Witterungsbedingungen dauerte 200 Tage. Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter kühlen Witterungsbedingungen wurden rund 50 Tage lang gemessen. Um die Summe an Emissionen während der warmen und während der kühlen Periode miteinander vergleichen zu können, sind in der Tabelle auch die kumulierten Emissionen angegeben, die nach 50 Tagen Lagerung unter warmen Bedingungen gemessen wurden.

Tabelle 14. Kumulierte Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist unter warmen und unter kühlen Bedingungen.

Variante	\bar{x} Temp. [°C]	Kumulierte Emissionen von ...			
		CH ₄ [kg/m ³]	N ₂ O [g/m ³]	NH ₃ [g/m ³]	TOC [kg/m ³]
<i>warm; 200 Tage</i>					
Mit Abdeck.	15,8	1,42	114	273	3,23
Ohne Abdeck.	16,5	4,66	119	380	6,79
Mit EM	17,0	6,75	121	286	9,83
<i>warm; 50 Tage</i>					
Mit Abdeck.	16,4	0,17	30	66	0,54
Ohne Abdeck.	17,9	0,25	23	118	0,75
Mit EM	17,5	0,44	24	110	1,33
<i>kühl; 50 Tage</i>					
Mit Abdeck.	12,9	0,10	18	19	0,79
Ohne Abdeck.	11,6	0,16	36	22	0,88

Unter warmen Bedingungen betrug die mittlere Flüssigmisttemperatur rund 16 °C. In den ersten 50 Tagen der Lagerung unter warmen Bedingungen wurde eine mittlere Temperatur von etwa 17 °C gemessen. Die mittlere Temperatur im Flüssigmist, der unter kühlen Witterungsbedingungen gelagert wurde, lag deutlich unter diesem Wert. Hier wurden nur rund 12 °C gemessen.

Schweineflüssigmist mit fester Behälterabdeckung emittierte unter warmen Bedingungen in Summe 1,42 kg CH₄/m³ Flüssigmist. Ohne Abdeckung wurde eine deutlich höhere Emission von 4,66 kg CH₄/m³ Flüssigmist gemessen. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus dem EU-Projekt „MIDAIR“, in dem nachgewiesen werden konnte, dass eine feste Behälterabdeckung Methanemissionen während der Lagerung von Milchviehflüssigmist reduziert (AMON ET AL. 2004 [4], [5], 2005 [6], [7]). Die emissionsmindernde Wirkung konnte in den hier vorgestellten Versuchen auf für Schweineflüssigmist gefunden werden. Bei EM-Zugabe erhöhten sich die CH₄-Emissionen auf 6,75 kg CH₄/m³ Flüssigmist.

Unter kühlen Witterungsbedingungen wurde erheblich weniger CH₄ emittiert als unter warmen Witterungsbedingungen. Mit fester Abdeckung beliefen sich die CH₄-Emissionen nach 50 Tagen auf 0,10 kg CH₄/m³ Flüssigmist. Im gleichen Zeitraum war unter warmen Bedingungen rund 70 % mehr CH₄ freigesetzt worden. Auch unter kühlen Bedingungen erhöhten sich die CH₄-

Emissionen, wenn der Flüssigmist ohne Abdeckung gelagert wurde. Sie erreichten dann $0,16 \text{ kg CH}_4/\text{m}^3$ Flüssigmist.

Mit fester Abdeckung erreichten die N_2O -Emissionen unter warmen Bedingungen in Summe ein Niveau von $114 \text{ g N}_2\text{O}/\text{m}^3$ Flüssigmist. Dies ist um ca. 4% weniger als aus dem abgedeckten Lagerbehälter gemessen wurde. Auch im Eu-Projekt „MIDAIR“ wurden aus abgedecktem Flüssigmist im Sommer geringere N_2O -Emissionen gemessen als aus nicht abgedecktem.

Bei Zugabe von EM wurde eine geringfügige Erhöhung der N_2O -Emissionen auf $121 \text{ g N}_2\text{O}/\text{m}^3$ Flüssigmist gemessen. Angesichts der Variabilität von N_2O -Emissionen und der zahlreichen Einflussfaktoren, die auf die Entstehung von N_2O wirken, sind jedoch die Unterschiede zwischen allen drei Varianten nicht als signifikant einzustufen.

Unter kühlen Witterungsbedingungen wurden bei abgedecktem Flüssigmist geringere N_2O -Emissionen gemessen als unter warmen Witterungsbedingungen. Der abgedeckte Flüssigmist hingegen emittierte unter kühlen Bedingungen mehr N_2O ($36 \text{ g N}_2\text{O}/\text{m}^3$) als unter warmen ($23 \text{ g N}_2\text{O}/\text{m}^3$). Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen aus dem Eu-Projekt „MIDAIR“. Auch hier emittierte der abgedeckte Flüssigmist im Winter mehr N_2O als im Sommer (AMON ET AL. 2004 [4], [5], 2005 [6], [7]).

Die kumulierten NH_3 -Emissionen waren bei der nicht abgedeckten Variante mit $380 \text{ g NH}_3/\text{m}^3$ Flüssigmist am größten. Sie waren um rund 40% höher als bei abgedecktem Flüssigmist. Besonders bei Schweineflüssigmist ist eine Abdeckung des Lagerbehälters erforderlich, um NH_3 -Emissionen zu vermeiden, da sich auf Schweineflüssigmist — im Gegensatz zu Rinderflüssigmist — keine natürliche Schwimmschicht bildet (siehe hierzu auch Fotos im Anhang). Eine Zugabe von EM konnte die NH_3 -Emissionen fast auf das Niveau des abgedeckten Flüssigmistes senken, obwohl auch der mit EM behandelte Flüssigmist ohne Abdeckung gelagert wurde.

Unter kühlen Witterungsbedingungen blieben die NH_3 -Emissionen auf deutlich niedrigerem Niveau als unter warmen Bedingungen. Der abgedeckte Flüssigmist emittierte nach 50 Tagen $19 \text{ g NH}_3/\text{m}^3$ Flüssigmist. Im gleichen Zeitraum waren unter warmen Bedingungen bereits $66 \text{ g NH}_3/\text{m}^3$ Flüssigmist emittiert worden. Auch unter kühlen Bedingungen waren die NH_3 -Emissionen aus nicht abgedecktem Flüssigmist erhöht, wenn auch der Unterschied nicht ganz so deutlich ausgeprägt war wie unter warmen Bedingungen.

Die TOC-Emissionen unter warmen Bedingungen waren in der abgedeckten Variante mit Abstand am geringsten. Hier wurden in Summe $3,23 \text{ kg TOC}/\text{m}^3$ Flüssigmist gemessen. Der nicht abgedeckte Flüssigmist emittierte $6,79 \text{ kg TOC}/\text{m}^3$ Flüssigmist. Ein einmaliger Zusatz von EM zu Beginn der Lagerung erhöhte die TOC-Emissionen auf $9,83 \text{ kg TOC}/\text{m}^3$ Flüssigmist. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu den Messungen im Stall, wo

Tabelle 15. Klimarelevante Gase während der Lagerung von Schweinefestmist und Schweineflüssigmist unter warmen und unter kühlen Bedingungen.

Variante	klimarelevante Emissionen		
	Summe GHG ^a [kg CO ₂ -Äq./m ³]	davon CH ₄ [%]	davon N ₂ O [%]
Festmist ohne EM	183,7	50,3	49,7
Festmist mit EM	171,7	51,6	48,4
<i>warm; 200 Tage</i>			
Flüssigm. mit Abdeck.	65,18	45,7	54,3
Flüssigm. ohne Abdeck.	134,70	72,6	27,4
Flüssigm. mit EM	179,14	79,1	20,9
<i>warm; 50 Tage</i>			
Flüssigm. mit Abdeck.	12,96	26,9	73,1
Flüssigm. ohne Abdeck.	12,36	40,4	59,6
Flüssigm. mit EM	18,01	55,6	44,4
<i>kühl; 50 Tage</i>			
Flüssigm. mit Abdeck.	7,72	25,8	74,2
Flüssigm. ohne Abdeck.	14,72	23,4	76,6

^aGHG = greenhouse gases = klimarelevante Emissionen

eine Reduktion der TOC-Emissionen durch das regelmäßige Versprühen von EM gemessen wurde (siehe Kap. 3.2.6). Es liegt die Vermutung nahe, dass EM TOC-Emissionen verringern kann, wenn es möglichst frühzeitig und regelmäßig eingesetzt wird.

Unter kühlen Witterungsbedingungen wurden nach 50 Tagen Lagerung etwas höhere TOC-Emissionen gemessen als im gleichen Zeitraum unter warmen Bedingungen. Hier emittierte der abgedeckte Flüssigmist 0,79 kg TOC/m³ Flüssigmist und der nicht abgedeckte 0,88 kg TOC/m³ Flüssigmist.

Tabelle 15 fasst die gemessenen CH₄- und N₂O-Emissionen zur Summe an klimarelevanten Emissionen zusammen. Die Tabelle gibt auch an, welcher Prozentsatz der klimarelevanten Emissionen aus CH₄-Emissionen und welcher aus N₂O-Emissionen stammt.

Festmist ohne EM emittierte 183,7 kg CO₂-Äq./t. Der Zusatz von EM reduzierte die klimarelevanten Emissionen auf 171,7 kg CO₂-Äq./t. In beiden Fällen wurden die klimarelevanten Emissionen jeweils zu etwa der Hälfte durch CH₄-Emissionen und zur anderen Hälfte durch N₂O-Emissionen verursacht.

Bei der Lagerung von Schweineflüssigmist wurden zwischen 65,18 kg CO₂-Äq./m³ Flüssigmist (mit Abdeckung) und 179,14 kg CO₂-Äq./m³ Flüssigmist (mit EM-Zusatz) gemessen. Beim abgedeckten Flüssigmist kamen wiederum rund 50 % der klimarelevanten Emissionen von CH₄ und weitere 50 % von N₂O. Nicht abgedeckter Flüssigmist emittierte deutlich mehr klimarelevante Gase. Die ist vor allem auf eine Zunahme der CH₄-Emissionen zurück zu führen, die hier einen Anteil von etwa 73 % an der Summe an klimarelevanten Gasen hatten.

Unter kühlen Witterungsbedingungen waren die klimarelevanten Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist deutlich reduziert. Mit Abdeckung wurden in Summe 7,72 kg CO₂-Äq./m³ Flüssigmist gemessen. Ohne Abdeckung erhöhten sich die klimarelevanten Emissionen auf 14,72 kg CO₂-Äq./m³ Flüssigmist. Aber nicht nur die absolute Höhe der Emissionen war unter kühlen Bedingungen anders als unter warmen, auch der Anteil von CH₄ und N₂O kehrte sich um. Im Winter wurden die klimarelevanten Emissionen zu rund 75 % durch N₂O-Emissionen verursacht.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung muss tier- und umweltgerecht sein. Verbraucher fordern zunehmend Fleisch aus tiergerechter Haltung mit Stroheinstreu, Vertreter des Umweltschutzes hingegen befürworten Flüssigmistsysteme ohne Stroh, weil sie hier geringere Emissionen erwarten. Diesen Konflikt gilt es zu lösen.

Auf Grund der mangelnden Datenlage werden eingestreute Ställe für Mastschweine häufig mit Tiefstreuställen gleichgesetzt. Dort sind Kot- und Liegefläche nicht getrennt. Tiefstreuställe kommen zwar den Ansprüchen der Schweine weitgehend entgegen, sind jedoch auch mit Nachteilen behaftet. Neben negativen Aspekten wie dem hohen Strohaufwand, Verschmutzung der Tiere, Geruchsbelästigungen in den Sommermonaten, etc. wird Tiefstreuställen auch ein höheres Potential an umwelt- und klimarelevanten Emissionen zugesprochen.

Im Gegensatz zum Tiefstreustall unterteilt sich der Schrägbodenstall in einen Liegebereich und einen Kotbereich. Wegen dieser Trennung wird nur ein kleiner Teil der Bucht mit Exkrementen verschmutzt. Das Stroh auf der Liegefläche bleibt sauber und trocken. Die Oberfläche im Kotbereich ist klein. Der Kotbereich kann regelmäßig mechanisch entmistet werden. Beides trägt zur Verminderung der Emissionen bei.

Zahlreiche Untersuchungen konnten nachweisen, dass der Schrägbodenstall ein besonders tierfreundliches Haltungssystem ist. Schrägbodenställe können in der landwirtschaftlichen Praxis sicher und wirtschaftlich betrieben werden.

Über einen Jahresverlauf hinweg wurden kontinuierlich Emissionsmessungen an einem Schrägbodenstall für Mastschweine durchgeführt. Aus den Daten wurde die Emission je Mastschwein und Jahr ermittelt und mit dem Richtwert für zwangsbelüftete Vollspaltenställe verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass CH_4 -, N_2O - und NH_3 -Emissionen aus einem Schrägbodenstall deutlich geringer sind als die Richtwerte, die derzeit für zwangsbelüftete Vollspaltenställe angegeben werden. Der Schrägbodenstall emittiert 1,24 (Schwemmentmistung) und 0,54 (Schrappentmistung) kg CH_4 je Schwein und Jahr. Der Richtwert beträgt 4,00 kg CH_4 je Schwein und Jahr. Die N_2O -Emissionen aus dem Schrägbodenstall beliefen sich auf 39,95 (Schwemmentmistung) und 24,54 (Schrappentmistung) $\text{g N}_2\text{O}$ je Schwein und Jahr. Zwangsbelüftete Vollspaltenställe werden mit N_2O -Emissionen von 100 $\text{g N}_2\text{O}$ je Schwein und Jahr kalkuliert. Aus dem Schrägbodenstall wurden NH_3 -Emissionen in Höhe von 2,10 (Schwemmentmistung) und 1,91 (Schrappentmistung) kg NH_3 je Schwein und Jahr gemessen. Auch hier ist der Richtwert für zwangsbelüftete Vollspaltenställe

deutlich höher: 3,00 kg NH₃ je Schwein und Jahr.

Im Schrägbodenstall werden geringere Mengen an Flüssigmist gelagert als im Vollspaltenstall, da Exkremamente nur im hinteren Teil der Bucht anfallen. Auch ist nur ein kleiner Teil der Bucht mit Exkrementen verschmutzt. Die Tiere trennen Kot- und Liegebereich und halten die Liegefläche sauber und trocken.

Ein Schrägbodenstall mit Schwemmentmischung emittiert weniger umwelt- und klimarelevante Gase als ein Vollspaltenstall. Wird unterhalb des Spaltenbodens, der sich am hinteren Ende der Bucht befindet, zusätzlich ein Schrapper installiert, der die Exkremamente ein- bis zweimal täglich aus dem Stall in das Flüssigmistlager befördert, so wird die Umweltfreundlichkeit des Systems weiter gesteigert. Es wird empfohlen, Schrägbodenställe mit einer mechanischen Schrappentmischung auszustatten.

Im Anschluss an die Emissionsmessungen am Stall wurden Emissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist und Schweinefestmist gemessen. Der Flüssigmist wurde einmal unter warmen und einmal unter kühlen Witterungsbedingungen gelagert. Emissionen von Schweineflüssigmist wurden sowohl mit als auch ohne feste Behälterabdeckung gemessen.

Eine feste Abdeckung des Lagerbehälters erwies sich als effiziente Maßnahme, um klimarelevante Emissionen und Ammoniakemissionen während der Lagerung von Schweineflüssigmist zu senken. Es wird empfohlen, Schweineflüssigmist in abgedeckten Behältern zu lagern.

Die Emissionsraten aus Schweineflüssigmist waren unter kühlen Witterungsbedingungen deutlich geringer als unter warmen Witterungsbedingungen. Aus diesem Grund sollten in der nationalen Emissionsinventur zwei unterschiedliche Emissionsfaktoren verwendet werden: einer für das Winterhalbjahr und einer für das Sommerhalbjahr. Dies würde die Genauigkeit der Inventur verbessern und in Summe zu niedrigeren Emissionen führen.

Das hier vorgestellte Projekt war ursprünglich so konzipiert, dass Emissionen aus einem Schrägbodenstall mit Flüssigmistmischung und während der anschließenden Lagerung des Flüssigmistes gemessen werden sollten. Ein Schrägbodenstall kann aber auch als Festmistsystem betrieben werden. Im Bereich der Lagerung wurde das Forschungsprojekt — für das BMLFUW kostenneutral — um Emissionsmessungen während der anaeroben Lagerung von Schweinefestmist ergänzt. Folgende Fragen sind nun noch offen und sollten in weiterführenden Untersuchungen bearbeitet werden:

- Emissionsmessungen an einem Schrägbodenstall, der Festmist produziert
- Emissionenmessungen während der aeroben Kompostierung von Schweinefestmist aus einem Schrägbodenstall

Die Zusammenarbeit mit der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein im hier vorgestellten Projekt war außerordentlich fruchtbar. Jeder Partner brachte sein spezifisches Know-How und seine Infrastruktur in das Projekt ein. Dies führte zu einer sehr effizienten und kostengünstigen Projektbearbeitung.

Das Forschungsprojekt „Messen und Mindern von Ammoniak-, Lachgas- und Methanemissionen aus einem Schrägbodenstall für Mastschweine“ wurde auf nachfolgend aufgelisteten Konferenzen präsentiert. Es stieß stets auf sehr reges Interesse und wurde stark nachgefragt.

- „RAMIRAN 2004, 11th International Conference of the FAO ESCO-RENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture“, 6 - 9 October, Murcia, Spain (AMON ET AL. 2004 [9])
- „7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung“, 1. - 3. März 2005, Braunschweig, Deutschland (AMON ET AL. 2005 [10])
- „Gumpensteiner Bautagung“, Juni 2005 (PÖLLINGER ET AL. 2005 [29])
- „Greenhouse Gases and Animal Agriculture (GGAA) 2005“, 20 - 24 September, ETH Zürich, Switzerland (AMON ET AL. 2005 [11]).

Darüber hinaus wurden erste Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt in der Zeitschrift „Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen“ veröffentlicht (AMON ET AL. 2005 [3]). Anfang nächsten Jahres ist eine dreiteilige Serie über den Schrägbodenstall in der „Top Agrar“ geplant.

Zusammenfassend kann folgendes fest gehalten werden: Der Schrägbodenstall für Mastschweine ist ein tierfreundliches System, das in der landwirtschaftlichen Praxis wirtschaftlich betrieben werden kann. Die CH₄-, N₂O- und NH₃-Emissionen aus dem Schrägbodenstall waren geringer als Standardwerte, die für zwangsbelüftete Vollspaltenbodenställe angegeben werden. Das Lagern des Schweineflüssigmistes sollte in abgedeckten Behältern erfolgen. Im Schrägbodenstall können Ansprüche des Tierschutzes und des Umweltschutzes erfüllt werden.

Literatur

- [1] AMON, B. NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus der Festmistverfahrenskette Milchviehanbindehaltung Stall—Lagerung—Ausbringung. MEG-Schrift Nr. 331, Verein deutscher Ingenieure, Max-Eyth-Gesellschaft, 1999. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik.
- [2] AMON, B., AMON, T., BOXBERGER, J., PÖLLINGER, A. UND ZAUSINGER, A. Entwicklung einer Messeinrichtung zur Erfassung umweltrelevanter Gasemissionen. *Die Bodenkultur* 47, 4 (1996), S. 247–253.
- [3] AMON, B., FRÖHLICH, M., KRYVORUCHKO, V., AMON, T., BOXBERGER, J., PÖLLINGER, A., HAUSLEITNER, A. UND MÖSENBACHER, I. NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus einem Schrägbodenstall für Mast Schweine. *Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen* 50, 5/2005 (2005), S. 274–275.
- [4] AMON, B., KRYVORUCHKO, V. UND AMON, T. Influence of different levels of covering on greenhouse gas and ammonia emissions from slurry stores. In *Greenhouse gas emissions from Agriculture, mitigation options and strategies*, (2004), A. Weiske, Hrsg., S. 252–254. International Conference February 10–12 2004, Leipzig, Germany.
- [5] AMON, B., KRYVORUCHKO, V. UND AMON, T. Influence of different levels of covering on greenhouse gas and ammonia emissions from slurry stores. In *Management Strategies for Organic Wastes in Agriculture* (2004), FAO European Cooperative Research, Hrsg., vol. I, FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN), S. 289–292. 11th International Conference, 6–9 October, Murcia, Spain.
- [6] AMON, B., KRYVORUCHKO, V. UND AMON, T. Influence of different levels of covering on greenhouse gas and nh₃ emissions from slurry stores. In *7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung* (2005), KTBL, Hrsg., S. 553–558. 1.–3. März 2005, Braunschweig, Deutschland, ISBN 3-7843-2185-2.
- [7] AMON, B., KRYVORUCHKO, V. UND AMON, T. Wirkung der Abdeckung auf NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen während der Lagerung von Milchviehflüssigmist. *Agrartechnische Forschung* (2005). in press.

-
- [8] AMON, B., MOITZI, G., SCHIMPL, M., KRYVORUCHKO, V. UND WAGNER-ALT, C. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions from management of liquid manures. Final report 2002. On behalf of Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environmental and Water Management and Federal Ministry of Education, Science and Culture; Research project no. 1107, BMLF GZ 24.002/24-IIA1a/98 and extension GZ 24.002/33-IIA1a/00, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Vienna, 2002.
- [9] AMON, B., PÖLLINGER, A., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A. UND AMON, T. Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs. In *RAMIRAN 2004* (2004), FAO European Cooperative Research, Hrsg., vol. I, Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN), S. 273–276. 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 6 - 9 October. Murcia, Spain.
- [10] AMON, B., PÖLLINGER, A., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A. UND AMON, T. Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs. In *7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung* (Darmstadt/Deutschland, 2005), KTBL, Hrsg., S. 559–564. 1.–3. März 2005, Braunschweig Deutschland; ISBN 3-7843-2185-2.
- [11] AMON, B., PÖLLINGER, A., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A. UND AMON, T. Ammonia and greenhouse gas emissions from a straw flow system for fattening pigs. In *Greenhouse Gases and Animal Agriculture (GGAA) 2005 (working papers)* (2005), C. Soliva, J. Takahashi, und M. Kreuzer, Hrsg., ETH Zürich, S. 247–250. 2nd International Conference, 20 – 24 September, Zürich, Switzerland.
- [12] BARTUSSEK, H. In der Schweinemast: Verdrängen Schrägböden die Vollspaltenbucht? *Traktor Aktuell*, 2 (1993), S. 22–25.
- [13] BARTUSSEK, H. Vollspaltenböden oder Tieflaufstall bei Mastschweinen? — Weder — noch! *Der fortschrittliche Landwirt*, 8/9 (1993), S. 18–19.
- [14] BARTUSSEK, H. UND GEISPERGER, W. Schweine auf der schiefen Bahn: Schrägbodenbuchten für Mastschweine bewähren sich. *DLZ-Agrobonus*, 3 (1998), S. 16–21. Irdning.

-
- [15] BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A., SCHAUER, A., STEINWENDER, R. UND J., U. Schrägbodenbuchten für Mastschweine. *Veröffentlichungen der BAL Gumpenstein*, 23 (1995). Irdning.
- [16] BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A., SCHAUER, A., STEINWENDER, R. UND SÖLKNER, H. Die Leistung von Mastschweinen in Gruppen auf Vollspalten und in dänischen Buchten mit Stroh, im Warm- und Kaltstall. *Veröffentlichungen der BAL Gumpenstein*, 17 (1992). Irdning.
- [17] BARTUSSEK, H., HAUSLEITNER, A. UND ZALUDIK, K. Schrägbodenbuchten in der Schweinemast: Die funktionssichere und kostengünstige tierschutzalternative zum Vollspaltenboden. In *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung* (1999), MEG, KTBL, und AEL, Hrsg. Beiträge zur 4. Internationalen Tagung, 09./10. März 1999 in Freising.
- [18] BROSE, G. Emissionen von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Forschungsbericht Agrartechnik, MEG-Schrift Nr. 362, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Hohenheim, 2000. Dissertation, Universität Hohenheim, ISSN 0391-6264.
- [19] BRUCE, J. Characteristics of waste from Straw-Flow. *Farm Building Progress*, 106 (1991), S. 15–20. Irdning.
- [20] DÖHLER, H., DÄMMGEN, U., BERG, W., BERGSCHMIDT, A., BRUNSCH, R., EURICH-MENDEN, B., LÜTTICH, M. UND OSTERBURG, B. Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010. Endbericht, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft and Umweltbundesamt, 2002.
- [21] EMEP/CORINAIR. Atmospheric Emission Inventory Guidebook (Third edition). <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR/en>, 2002.
- [22] FRASER, D., P.A., P. UND TENNENSEN, T. Effect of straw on the behaviour of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 17 (1991), S. 61–68. Irdning.
- [23] GALLMANN, E. Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien — Stallklima und Emissio-

- nen. Forschungsbericht Agrartechnik, MEG-Schrift Nr. 404, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Hohenheim, 2003. Dissertation, Universität Hohenheim, ISSN 0391-6264.
- [24] GÜNZLER, H. UND BÖCK, H. *IR-Spektroskopie: eine Einführung*, zweite Auflage. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 1983.
- [25] HÖRNING, B. *Artgemäße Schweinehaltung. Beratung Artgerechte Tierhaltung*. Verlag C.F. Müller and Stiftung Ökologie und Landbau and Schweisfurth-Stiftung, München, Karlsruhe, 1999.
- [26] HOUGHTON, J., MEIRA FILHO, L., CALLANDER, B., HARRIS, N., KATTENBERG, A. UND MASKELL, K., Hrsg. *Climate Change: The Science of Climate Change* (1996), Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Pr.
- [27] IPCC/OECD. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Phase II). IPCC report, OECD, Paris, 1997.
- [28] NIEBAUM, A. Quantifizierung gasförmiger Emissionen aus quer gelüfteten Außenklimaställen für Mastschweine mit Hilfe der Tracergas-Technik. Forschungsbericht Agrartechnik, MEG-Schrift Nr. 370, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Göttingen, 2001. Dissertation, Georg-August Universität Göttingen, ISSN 0391-6264.
- [29] PÖLLINGER, A., AMON, B., KRYVORUCHKO, V., MÖSENBACHER, I., HAUSLEITNER, A. UND AMON, T. Emissionen aus einem schrägbodensystem für mastschweine. In *Bericht über die Gumpensteiner Bautagung* (Juni 2005), HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Hrsg., S. 25–31.
- [30] RATHMER, B. Vergleich klima- und umweltrelevanter Emissionen aus Haltungssystemen für Mastschweine. Forschungsbericht Agrartechnik, MEG-Schrift Nr. 386, Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, München, 2002. Dissertation, Technische Universität München, ISSN 0391-6264.
- [31] SAMBRAUS, H. *Nutztierkunde*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1991.
- [32] STAAB, J. Industrielle Gasanalyse. *Technisches Messen* 58, 1 (1991), S. 29–35.
- [33] STOLBA, A. Verhaltensmuster von Hausschweinen in einem Freigehege. KTBL-Schrift 299, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, 1983.

- [34] UMWELTBUNDESAMT DER BRD. Entwurf: Erstellung eines Gutachtens für einen deutschen Beitrag zur Vollzugsvorbereitung zum Umsetzung der IVU-Richtlinie für den Bereich Intensivtierhaltung. UBA-Text 75/02, Umweltbundesamt der BRD, Berlin, 2001. Beste verfügbare Techniken in der Intensivtierhaltung.
- [35] WECHSLER, B. Ethologische und verfahrenstechnische Weiterentwicklung des Stolba-Familienstalles für Schweine. Abschlußbericht des dreijährigen Forschungsprojektes, 1994.
- [36] WECHSLER, B. Schwein. In *Das Buch vom Tierschutz*, H. Sambraus und A. Steiger, Hrsg. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1997, S. 173–185.
- [37] WHITE, J. Long optical paths of large aperture. *J. O. S. A.* 32 (1942), S. 285–288.
- [38] ZALUDIK, K. Untersuchungen zum Schrägbodensystem für Mastschweine. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 1997.
- [39] ZAMG. Stundendatenbank der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Bericht der ZAMG, Central Institute of Meteorology and Geodynamics, 2003.
- [40] ZAMG. Stundendatenbank der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Bericht der ZAMG, Central Institute of Meteorology and Geodynamics, 2004.
- [41] ZERBONI, H. UND GRAUVOGL, A. Schwein. In *Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere*, A. Bogner, H. anf Grauvogl, Hrsg. Verlag Ulmer, Stuttgart, 1984.